

Магістерська дисертація

на тему: _____ " " " " "

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»
УДК

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) Ю.В. Киричук
(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: _____

" " " " "

Виконав: студент 2 курсу, групи ПМ – 81мп
(шифр групи)

" "

Науковий керівник _____
(прізвище, ім'я, по батькові) " " " " " " (підпис)

(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Розробка доцент, д.е.н. Бояринова К.О.
стартап-проекту (посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)
(назва розділу)

Рецензент 000" " " 00
(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

5.Орієнтовний перелік публікацій:

6. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розробка стартап-проекту</i>	Бояринова К.О. д.е.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 29.10.19

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням	29.10.19-31.10.19	
2.	Огляд матеріалів за темою дисертації	31.10.19-05.11.19	
3.	Розробка принципової схеми	05.11.19-11.11.19	
4.		11.11.19-18.11.19	
5.	Виконання експериментальних досліджень	18.11.19-25.11.19	
6.	Розробка стартап-проекту	25.11.19-02.12.19	
7.	Оформлення текстової та графічної частини	02.12.19-09.12.19	
8.	Представлення роботи на перевірку науковому керівнику	09.12.19-13.12.19	
9.	Передача роботи на перевірку збігів/схожості текстів	13.12.19	

Студент

(підпис)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

" "

(ініціали, прізвище)

." " 0 0 0 " 0 0

(ініціали, прізвище)

Реферат

Магістерська дисертація на тему «Автоматизована система вимірювання тиску» містить 80 сторінок, 10 таблиць, 19 рисунків, 12 формул, 8 " " " " 23 0 роботи. Актуальність теми дослідження зумовлено необхідністю пошуку нових систем в вимірюванні тиску в приміщенні, управлінні якістю показників в приміщенні, підтримання потреб умов перебування людей та тварин, необхідних умов для роботи підприємств, лабораторій, загострення нестабільності зовнішнього середовища, змін технологій. Магістерську дисертацію виконано в Київському Політехнічному Інституті ім. Ігоря Сікорського (Україна) відповідно до планів науково-дослідних робіт Приладобудівної кафедри.

Метою роботи є створення автоматизованої системи вимірювання тиску та підтримання сталих умов тиску, контролю кисню, контролю чистоти в приміщенні. Завдання дослідження: – визначити сутність, принципи та методи контролю показників приміщення; – провести аналіз ефективності системи; – визначити основні напрями розвитку даної системи; – розрахувати ефективність реалізації системи за допомогою стартап-проекту. Об'єктом дослідження є показники приміщення в різних сферах життя, а саме: галузь виробництва надточних матеріалів та приладів, заводи, цехи, місця проживання людей з змінним тиском, установи за доглядом за тваринами, лабораторії. Предметом дослідження є тиск, кількість кисню та шкідливих домішок у приміщенні. Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає у розробленні сучасної системи контролю показників приміщення, яка дозволить нормалізувати середовище, де знаходяться люди чи тварини, отримати необхідні умови для роботи. Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані заходи удосконалення автоматизованої системи вимірювання тиску та інших параметрів можуть бути використані суб'єктами підприємництва для дотримання належних умов роботи

					ДП.ПМ-81.05ПЗ	Арк.
Зм	Арк	№	Підпис	Дя		3

співробітників, підтримання необхідних показників тиску та інших в приміщенні.

Ключові слова: тиск, кисень, чисте приміщення, вимірювання тиску, система вимірювання тиску в приміщенні, контроль кисню, чистоти приміщення,

					ДП.ПМ-81.05ПЗ	Арк.
Зм	Арк	№	Підпис	Да		4

Summary

The master's thesis on "Automated Pressure Measurement System" contains 80 pages, 10 tables, 19 figures, 12 formulas, 8 appendices. The list of links has 23 names. Relevance of work. The relevance of the research topic is due to the need to find new systems in measuring the pressure in the room, managing the quality of indices in the room, maintaining the needs of people and animals, the necessary conditions for the work of enterprises, laboratories, exacerbation of environmental instability, changes in technology. The master's thesis was performed at the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine) In accordance with the plans of research works of the Instrument-making Department.

The purpose of the work is to create an automated system for measuring the pressure and maintaining a constant pressure, oxygen control, cleanliness in the room. The objectives of the study: - to determine the nature, principles and methods of control of the premises; - to carry out the analysis of system efficiency; - determine the main directions of development of this system; - to calculate the efficiency of system implementation with the help of a startup project. The object of the study is the indices of the premises in different spheres of life, namely: industry of production of precision materials and appliances, factories, workshops, places of residence of people with variable pressure, institutions for animal care, laboratories. The subject of the study is the pressure, amount of oxygen and harmful impurities in the room. The scientific novelty of the results of the research is to develop a modern system of indicators of the premises, which will allow to normalize the environment where people or animals are, to get the necessary conditions for work. The practical significance of the results obtained. The proposed measures to improve the automated pressure measurement system and other parameters can be used by business entities to maintain the proper working conditions of employees, maintain the necessary pressure indicators and others indoor parameters.

					ДП.ПМ-81.05ПЗ	Арк.
Зм	Арк	№	Підпис	Дат		5

Keywords: pressure, oxygen, clean room, pressure measurement, room pressure measurement system, oxygen control, room cleanliness,

					ДП.ПМ-81.05ПЗ	Арк.
Зм	Арк	№	Підпис	Да		6

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	9
Вступ.....	10
Розділ 1. Вимірювання тиску.....	11
1.1 Атмосферний тиск	11
1.1.1. Види барометрів [1,2]	12
1.2. Парціальний тиск[2]	16
1.2.1. Парціальний тиск дихальних газів.....	17
2.2. Тиск в приміщенні та чистота приміщення	18
Розділ 2. Фільтри HEPA та системи регуляції тиску в приміщенні.	19
2.1. Нера фільтри.....	19
2.1.1. Встановлення та експлуатація фільтрів HEPA	20
2.1.2. Основні методи фільтрації за допомогою фільтрів HEPA	21
2.1.3. Як працює HEPA фільтр.....	23
2.1.4. Як найменші часточки торкаються волокна HEPA-фільтра?.....	25
2.1.5. Від чого залежить ефективність HEPA фільтра?.....	31
2.2.1. Нормативний огляд.....	33
2.2.2. Герметичність приміщення та повітряний потік	35
2.2.3 Підтримання балансу витрати і тиску в приміщеннях. Огляд системи.	40
2.3.2. Проблематика чистих приміщень, на які слід звернути увагу при проектуванні вентиляційних систем	45
2.4. Регулятори та контроль подачі повітря	46
2.4.1. Схема встановлення CAV регулятора	48

2.4.2. Обладнання та схеми управління для підтримки перепадів тиску	48
2.4.3. Сервоприводи для клапанів - регулятори тиску та регулятори змінної витрати VAV	51
2.4.4 Загальні рекомендації щодо диференціального тиску	54
2.5. Розробка приміщення з регуляцією режиму тиску	56
2.5.1. Код системи системи	61
Розділ 3.Розробка стартап проекту «Автоматизована система вимірювання тиску в приміщенні».....	63
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	65
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	65
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	72
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	74
Висновки до розділу 3	77
Висновки	78
Література	80

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

ПЗ	Програмне забезпечення
Регулятор CAV	Constant Air Volume
Фільтр HEPA	High Efficiency Particulate Absorving
VAV система	Variable Air Volume

Вступ

Вимірювання тиску в приміщенні має велике значення для здоров'я людини, для якості процесів, а також є супроводжувальною величиною при визначенні кількості кисню в приміщенні.

Станом на сьогодні існує проблема вимірювання тиску в приміщенні, це зумовлено потребами виробничих процесів.

Вимірювання та підтримання тиску в приміщенні дає змогу нормувати стале надходження кисню до приміщення, чистоту повітря та інші параметри. Це дає можливість підтримання здорових умов перебування людей, тварин, вироблення надточних матеріалів та приладів, створення безпеки лабораторного приміщення, тощо.

В цій роботі я спроектую “Автоматизовану систему вимірювання тиску в приміщенні”, котра, в свою чергу, окрім вимірювання тиску, буде надсилати значення на контролер і врегульовувати кількість надходження повітря та тиску в приміщенні.

Основними параметрами виміру будуть атмосферний тиск та парціальний.

Розділ 1. Вимірювання тиску.

1.1. Атмосферний тиск [3]

Атмосфера має вагу та тисне на всю земну поверхню. Основною одиницею вимірювання атмосферного тиску в міжнародній системі є Паскаль (Па), який, в свою чергу, дорівнює одному ньютону (Н), що діє на площу 1 м², тобто 1 Па = 1 Н/м².

Тиск з висотою зменшується. Це виражається у формулі Бабіне [1]:

$$\Delta h = 16000 \frac{p_0 - p_1}{p_0 + p_1} (1 + \alpha t), \quad (1.1)$$

Де Δh - різниця висот двох пунктів, м; t – середня температура стовпа повітря, °C; p_0 і p_1 - відповідно атмосферний тиск на верхньому і нижньому пунктах; $\alpha = 1/273 \approx 0,004$ – коефіцієнт теплового розширення повітря.

Барометрична сходинка – це висота, на яку необхідно піднятися або опуститися, щоб тиск змінився на одну одиницю. Баричну сходинку можна обчислити за формулою, яку одержують з формули Бабіне:

$$h = \frac{8000}{p} (1 + \alpha t), \quad (1.2)$$

де p і t – відповідно тиск і температура повітря на заданому рівні в атмосфері.

Вертикальний баричний градієнт – це зміна атмосферного тиску кожні 100 м висоти. Він визначається за співвідношенням:

$$G_B = 100/h. \quad (1.3)$$

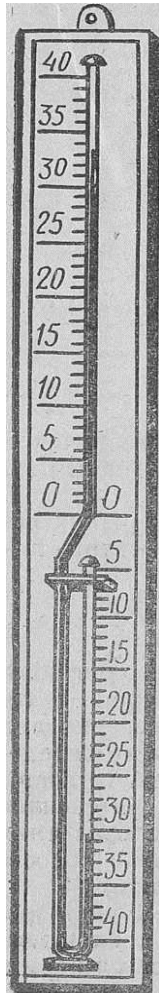
Прилади для вимірювання тиску повітря називаються барометрами. Найбільше розповсюджені ртутні барометри та металеві барометри..

Нормальний тиск прийнято рахувати **760 мм рт. ст.** або **одиницю Бар**. Один Бар відповідає тиску 750,06 мм рт. ст. Бар ділиться на 1000 мілібар (мбар). Звідси 1 мбар дорівнює 0,7501 мм рт. ст., а тиск в 1 мм рт. ст. відповідає 1,33 мбар.

Останнім часом тиск вимірюється в одиницях Паскаля (Па). По цій системі нормальний тиск дорівнює **1013 гПа**.

Ртутний барометр має вигляд скляної трубки, заповненої ртуттю. Верхній кінець трубки запаяний, а нижній опущений у чашку з цим же металом (рис. 1). [1]

1.1.1. Види барометрів [1,3]



При визначенні атмосферного тиску сифонним барометром відраховують висоту стовпчика у відкритому коліні. При наявності у сифонного барометра рухомої шкали перед підрахунками нульову точку її встановлюють на рівні ртуті у відкритому кінці і проводять один відрахунок по положенню в запаяному кінці.

Відлік показників ртутного сифонного барометра, у якого нульова точка знаходиться по середині довгого коліна барометра роблять так: спочатку відраховують показники по верхній половині ртутного стовпчика в довгому коліні від нуля до верхнього меніска, а потім нижній половині в короткому коліні від нуля для рівня ртуті, одержані цифри додають.

Показники ртутного барометра відраховують по положенню меніска ртуті на шкалі. В показниках ртутних барометрів вносять поправки на температуру, так як при підвищенні її ртуть збільшується в об'ємі і дає завищені показники атмосферного тиску.

Визначаючи тиск, при різних температурах показники барометра приводять до нульової температури по формулі:

$$h_0 = h_t - t \cdot 0,00016275$$

де h_0 - показники барометра, приведені до 0° .

h_t - показники барометра при даній температурі.

t - температура повітря під час спостереження.

0,00016275 - коефіцієнт розширення ртуті.

Рис. 1
Ртутний
сифонний
барометр

Барометри-анероїди - це прилади для вимірювання атмосферного тиску (рис. 2).

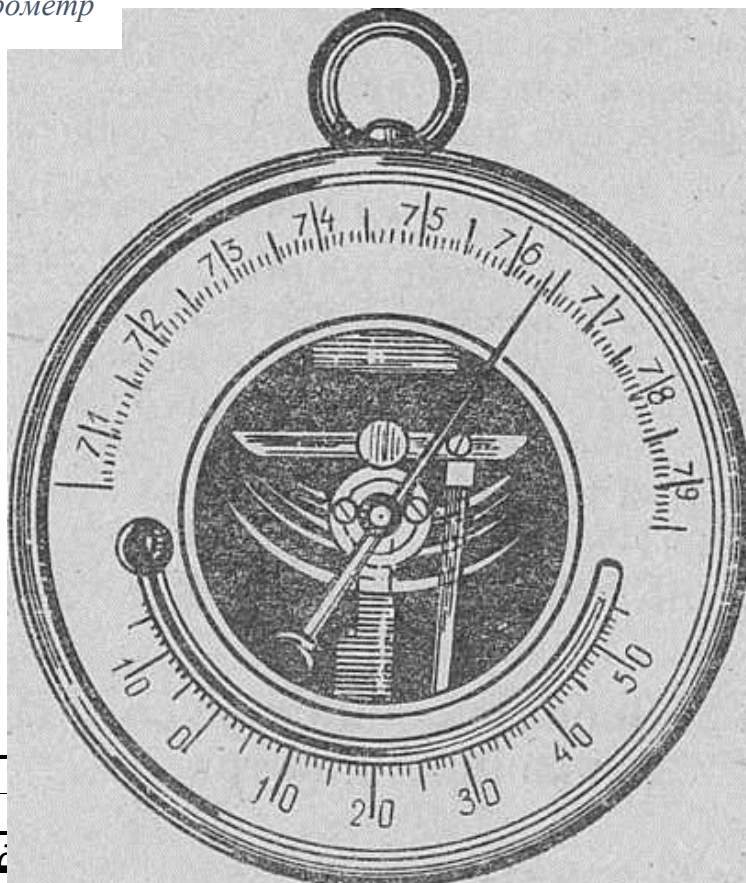


Рис. 2 Барометр-анероїд

Найважливіша частина барометра-анероїда це порожня тонкостінна металева коробка з гофрованим дном і кришкою або тонкостінна плоска трубка, зігнута у вигляді підкови. Коробка або трубка заповненні розрідженим повітрям (до 50-60 мм рт. ст.).

В результаті коливання атмосферного тиску стискаються або виступають стінки коробки або ж згинаються і розгинаються кінці трубки. Ці зміни через систему важелів передаються стрілці, яка рухається по циферблату, розділеному на міліметрові і напівміліметрові поділки.

Барометр-анероїд зберігається в закритому футлярі в горизонтальному положенні.

Показники барометра-анероїда записуються після легкого постукування пальцем по склу для зняття тертя в важелях передачі.

Колівання атмосферного тиску в залежності від температури повітря наведено в додатку.

Металеві барометри застосовують при визначенні атмосферного тиску в польових умовах, а також для безперервної реєстрації його значень у часі. Принцип дії заснований на властивості металевих коробок, з яких викачано повітря, змінювати свою форму (деформуватися) під впливом зміни атмосферного тиску. До приладів цієї групи належать анероїди (рис. 3 і 4).

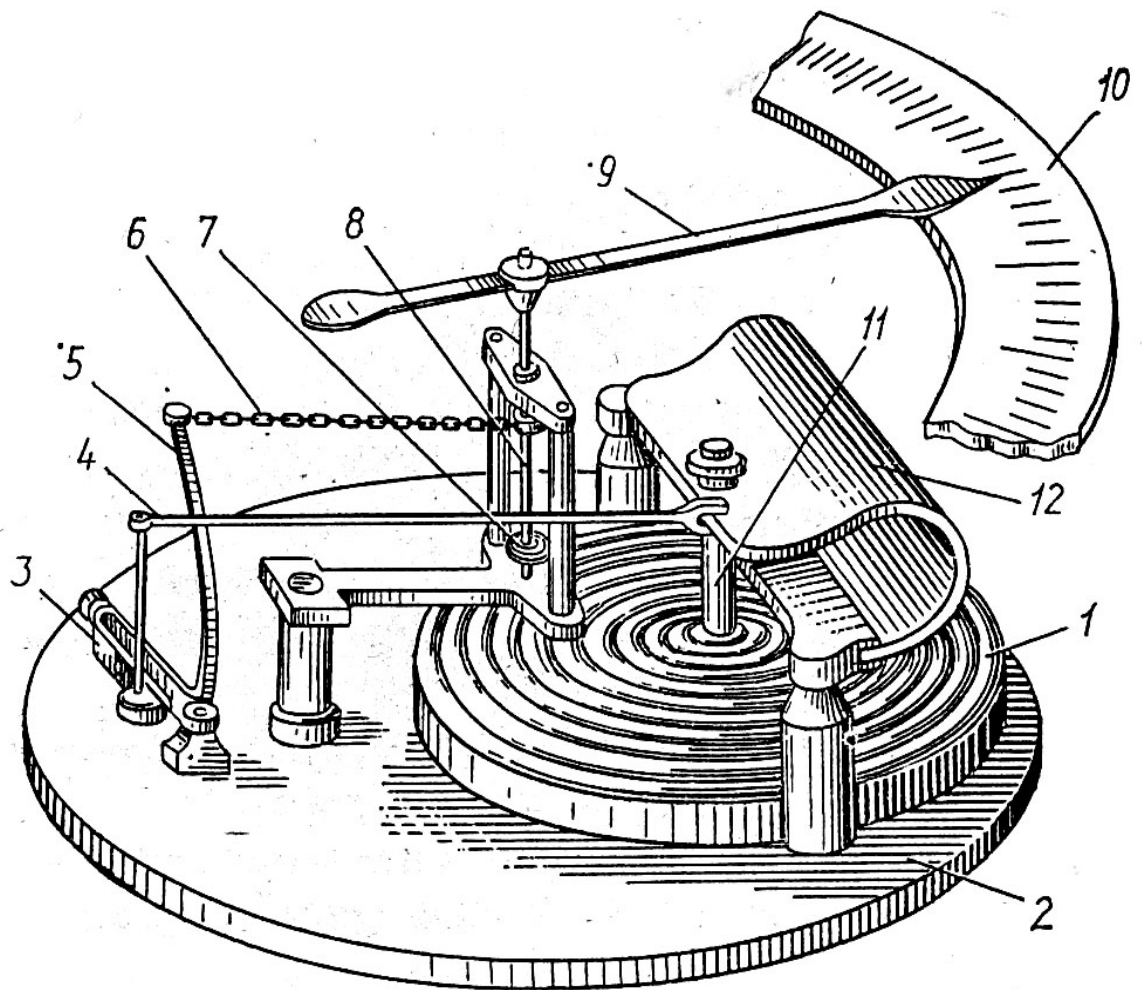


Рис. 3 Механізм анероїда

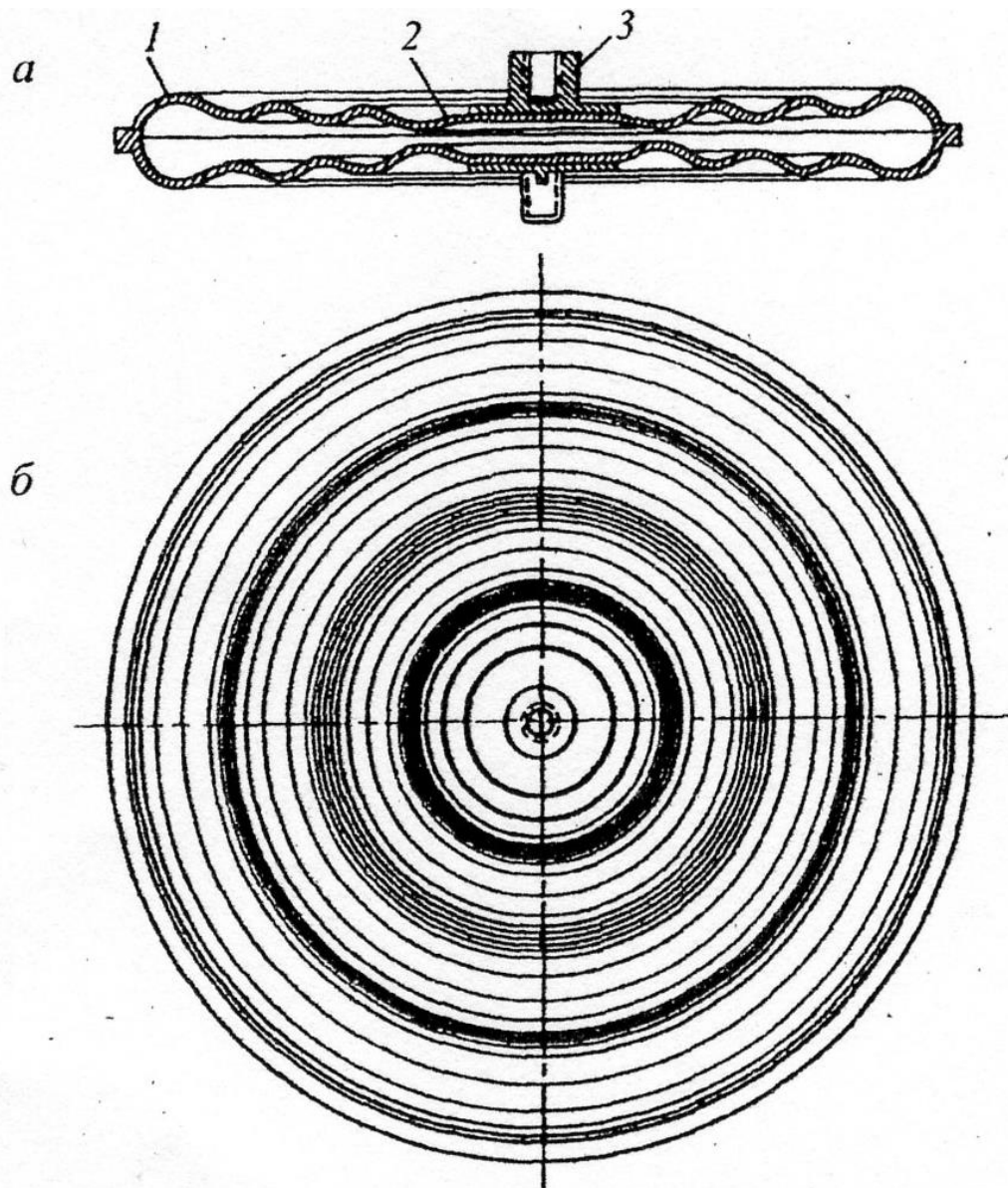


Рис. 4 Анероїдна коробка: а – розріз (1- мембрана; 2- центр; 3- кріпильна ніжка), б – вид зверху

Анероїд БАММ (рис.3 і 4) включає такі основні частини: металева коробка 1; пружина 12; система важелів 3-5; ланцюжок 6; вісь 8; стрілка 9;

пружина 7; кругова шкала 10; дугоподібний термометр.

Металева коробка є тонкостінною. Вона складається із двох спаяних між собою гофрованих круглих мембран 11 з жорсткими центрами і ніжками, які необхідні для кріплення коробки на металевій основі 2 приладу.

Всередині коробки повітря дуже розріджене (до 0,01 гПа).

Пружина запобігає сплюснуванню коробки зовнішнім тиском. Вона з'єднана одним кінцем з ніжкою верхньої мембрани, а другим – з основою приладу. При збільшенні тиску повітря коробка стискається, при зменшенні - розтягується пружиною.

Система важелів, ланцюжок передають коливання верхньої мембрани на вісь, до якої прикріплена стрілка. Спіральна пружина утворює постійний натяг ланцюжка. Кругова шкала фіксує зміну атмосферного тиску за положенням стрілки. Кожна поділка шкали дорівнює 0,5 мм.рт.ст. або 0,5 гПа.

Дугоподібний термометр зі шкалою через 1°C прикріплено до циферблату анероїда з нижньої сторони. Він дозволяє визначити температуру анероїда. Увесь механізм анероїда поміщають у металевий або пластмасовий футляр, у дні якого є отвір для доступу гвинта, що регулює положення стрілки. Зміна положення стрілки за допомогою гвинта призводить до зміни поправок анероїда. Після перевірки чіпати гвинт не дозволяється. Анероїд встановлюють горизонтально на підставці, закріпленій на стінці або столі, в тих же умовах, що і ртутний барометр. У польових умовах відлік за анероїдом виконують також при його горизонтальному положенні на рівні грудей. Горизонтальність положення анероїда обумовлена тим, що при такому положенні визначають усі поправки до відліку за ним.

Спостереження за анероїдом і введення поправок в покази проводять в такому порядку:

1. Роблять відліки за термометрами при анероїді з точністю до 0,1°C.
2. Для зменшення сили тертя в передавальному механізмі (система важилів, ланцюжок, пружина) легко стукають пальцем по скляній кришці приладу.
3. Беруть відлік положення стрілки з точністю до 0,1 мм (або гПа) після того, як вона заспокоїться. При цьому необхідно розташувати око так, щоб воно знаходилося над кінцем стрілки.
4. У покази анероїда вводять три поправки: шкалову, температурну, додаткову. Всі поправки наведено в повірочному свідоцтві анероїда.

1.2. Парціальний тиск[2]

Парціальний тиск (від лат. *partialis* — частковий) — внесок газу певного роду в загальний тиск суміші газів і відповідає тиску, під яким перебував би газ, що входить до складу газової суміші, коли б він один займав об'єм, рівний об'ємові суміші при тій самій температурі.

Парціальний тиск окремої складової (складової) суміші, якщо її можна вважати ідеальним газом, визначається за формулою:

$$P_i = V_i \frac{RT}{V},$$

де V_i — кількість речовини даної (i -тої) компоненти, R — газова стала, T і V — відповідно, температура та об'єм суміші.

Згідно із законом Дальтона у випадку ідеальних газів парціальні тиски окремих компонентів суміші газів сумуються

$$P = \sum_i P_i.$$

Парціальний тиск кожного із компонентів пропорційний частці цього компонента в суміші газів.

$$P_i = X_i P,$$

де

$$X_i = \frac{V_i}{V},$$

V_i — кількість речовини i -го газу в суміші, V — загальна кількість речовини газу.

1.2.1. Парціальний тиск дихальних газів [4,5]

Атмосферне повітря складається із суміші газів, їх загальний тиск дорівнює **760 мм.рт.ст.**

Частка кисню в атмосферному повітрі становить **20,94%**, його парціальний тиск можна обчислити за формулою Дальтона. Парціальний тиск кисню в повітрі становитиме $p = (760 \times 20,94) / 100 = 159$ мм.рт.ст.

Відповідно до закону Дальтона, парціальний тиск кожного газу в суміші пропорційний його об'ємному вмісту. Використовуючи цей закон для визначення дифузії газів у легенях, слід пам'ятати, що як атмосферне повітря, так і альвеолярна суміш газів містять разом з O_2 , CO_2 , N_2 і благородними газами та водяними парами, що впливають на парціальний тиск. Тому при визначенні парціального тиску газів, що беруть участь в газообміні, необхідно розрахувати тиск водяної пари, який становить 47 мм рт. Ст. Розрахунки показали, що при рівні моря в атмосферному повітрі парціальний тиск кисню (P_{O_2}) становить приблизно 150 мм рт. (20 кПа), для вуглекислого газу (P_{CO_2}) - близько 0,2 мм рт. (0,03 кПа), (табл. 11.2).

В альвеолярній газовій суміші, виходячи з рівнянь альвеолярних газів, $P_{O_2} = 100$ мм рт. (13,3 кПа), $P_{CO_2} = 40$ мм рт.ст. (5,3 кПа). Парціальний тиск газів в альвеолах залежить від альвеолярної вентиляції (V_a). Зі збільшенням вентиляції P_{O_2} збільшується, P_{CO_2} зменшується. Знижена альвеолярна вентиляція (гіповентиляція) супроводжується зворотними змінами.

Парціальний тиск O_2 в артеріальній крові в нормі становить 95 мм рт. Ст. для молодого людини ця величина зменшується з віком через втрату еластичності легенів

Дихальна суміш газів, кров	Кисень		Вуглекислий газ	
	Парціальний тиск, мм рт. ст. (кПа)	Об'ємна частка, %	Парціальний тиск, мм рт. ст. (кПа)	Об'ємна частка, %
Атмосферне повітря	150(20)	20,9	0,2 (0,03)	0,04*
Видихуваний газ	120 (16)	16,6	30(4)	4,0
Альвеолярний газ	100(13,3)	14	40(53)	53
Артеріальна кров	95(12,7)	20	40 (5,3)	50
Венозна кров	40(5,3)	15	46(6,1)	56

Рис. 5 Газовий склад дихальних сумішей у крові людини

- * За останніми даними, об'ємна частка CO₂ в атмосферному повітрі зросла на 0,01%, що становить підвищення його концентрації на 33 %
- і в 70 років сягає 70 мм рт. ст. Зменшення напруги кисню в артеріальній крові нижче нормального рівня називають *гіпоксемією*, але насичення киснем тканин суттєво не змінюється, поки P_{o2} не стає менше ніж 60 мм рт. ст.
- Парціальний тиск CO₂ в артеріальній крові в нормі **становить** 40 мм рт. ст. і характеризує стан альвеолярної вентиляції. Збільшення P_{co2} вище норми називають *гіперкапнією*, зменшення – *гіпокапнією*.

2.2. Тиск в приміщенні та чистота приміщення

Отже, визначившись з основними поняттями дисертації, перейдемо до можливостей їх застосування у світі.

Вимірювання тиску – важлива складова багатьох процесів, це може бути приміщення цеху, де виготовляють надточні матеріали та будь яке

відхилення може призвести до зміни параметрів матеріалів та вплинути на результат.

Звісно, своє застосування система може знайти не тільки на виробництві, наприклад, значні коливання негативно діють на організм, зокрема при перегоні тварин на високогірні пасовища, а також у тваринницьких приміщеннях, коли механічна вентиляція за одиницю часу видаляє повітря більше, ніж його надходить. За таких умов спостерігається розрідження повітря і зниження нормального парціального тиску кисню, а отже, кисневе голодування організму.[1] Також систему можливо застосувати і до офісів, жилих будівель в місцевостях де перепади тиску постійні, адже окрім кисневого голодування в результаті зміни тиску погіршиться самопочуття людини.

Окрім вище перерахованого, контроль перепаду тиску за допомогою вентиляційної системи - один із методів забезпечення чистоти приміщення та захисту від витоку небезпечних забруднень в лабораторіях. Для запобігання потрапляння забруднень ззовні в приміщення підтримується надмірний тиск. Якщо необхідно уникнути витоку забрудненого повітря, наприклад, з лабораторій, де обробляються небезпечні речовини, в приміщенні створюється негативний перепад тиску (вакуум). Отже, прийшовши до висновку, що створення системи, яка, в свою чергу, матиме декілька підсистем, та буде не тільки вимірювати тиск, а ще і створювати умови перебування та праці.

У магістерській дисертації розглядаються основні вимоги, принципи, рекомендації, обладнання та технічні рішення для забезпечення вимірювання, контролю та регулювання перепаду тиску в приміщеннях за допомогою вентиляційної системи. А також фільтрація повітря, що надходить, за допомогою фільтрів HEPA для можливості встановлення у лабораторіях

Розділ 2. Фільтри HEPA та системи регуляції тиску в приміщенні.

2.1. Нера фільтри

- Це вискоєфективні фільтри, основною метою яких є видалення дрібних частинок з повітря, включаючи PM2.5 та PM10 (діаметром менше 2,5 та 10 мкм відповідно). HEPA - клас фільтрів, який визначається міжнародними та національними стандартами EN 1822-1: 2009 та GOST R EN 1822-1-2010.

Фільтри HEPA настільки ефективні, що лише 3 з 10000 частинок, які потрапляють у фільтр, можуть його подолати. Фільтруючий матеріал для таких фільтрів складається з найтонших скловолокнистих ниток діаметром 0,5-2 мкм, розташованих безладно. Товщина, розмір волокон та інтенсивність повітряного потоку визначають ефективність фільтра.

HEPA-фільтри широко застосовуються для вентиляції різних приміщень, наприклад:

1. приміщення оптичної та електронної промисловості;
2. приміщення фармацевтичної промисловості;
3. приміщення системи охорони здоров'я: лабораторії, операційні зали, диспансери тощо.

З огляду на широту використання таких фільтрів, крім стандартних розмірів, фільтри HEPA виготовляються на замовлення відповідно до індивідуальних розмірів замовника.

2.1.1. Встановлення та експлуатація фільтрів HEPA

HEPA-фільтри служать для остаточного очищення повітря. Вони можуть бути встановлені у відповідному ящику HEPA, у вентиляційному каналі або у складі вентиляційного блоку. Багаторічний досвід використання таких фільтрів довів їх ефективність у очищенні повітряних потоків, як у системах подачі повітря, дотримуючись усіх гігієнічних вимог, так і у витяжній вентиляції при очищенні забрудненого повітря перед викидом його в атмосферу.

Під час роботи цих фільтрів з часом ефективність фільтрації збільшується, це відбувається через ущільнення структури фільтруючого матеріалу. Однак це також збільшує опір цих фільтрів. Тому такі типи фільтрів часто застосовуються в приміщеннях, до яких вони пред'являють особливо жорсткі вимоги до якості повітря. HEPA-фільтри також запобігають потраплянню алергенів у зони обслуговування.

2.1.2. Основні методи фільтрації за допомогою фільтрів НЕРА

Основою будь-якого фільтра НЕРА є довільно розташовані волокна різної товщини, приблизно 0,5-5 мкм. Відстань між волокнами становить приблизно 5-50 мкм. Діаметр дрібних частинок знаходиться в межах декількох мікронів/

Питання: як фільтр з такими великими порами утримує такі маленькі частинки?

Зазвичай ми уявляємо фільтр у вигляді сітки: якщо відфільтрований об'єкт більший за клітинку, він застрягає. Цей механізм називається ефектом сита. Він працює для частинок, діаметр яких перевищує розмір пор у фільтрі. На спрощеній моделі ефект сита виглядає приблизно так:

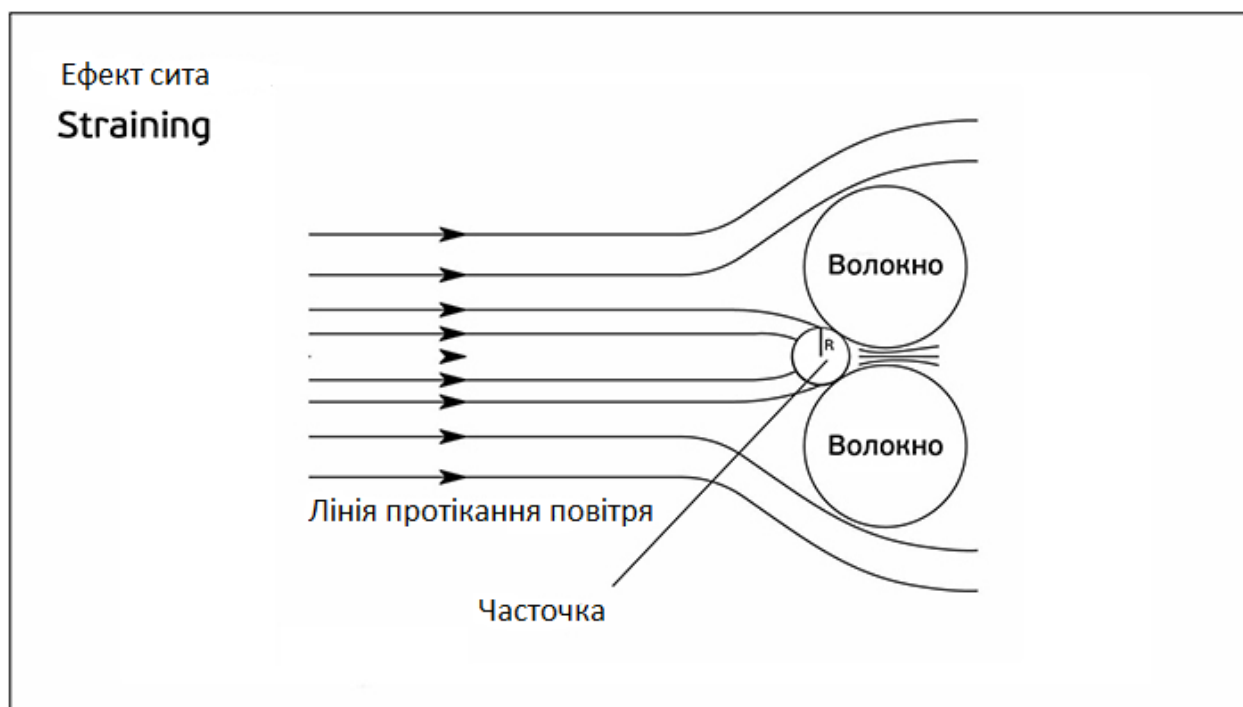


Рис. 6 Ефект сита

Фільтрувальні волокна представлені у вигляді циліндрів, розташованих поперек повітряного потоку. Сам потік вважається безвихревим, сталим. Модель частинок - куля з радіусом R . Якщо $2R$ більше відстані між волокнами, частинка застрягає у фільтрі. Чим більше частинка, тим більше

шансів застрягти у волокнах. Тому для великих частинок ефект сита працює краще:

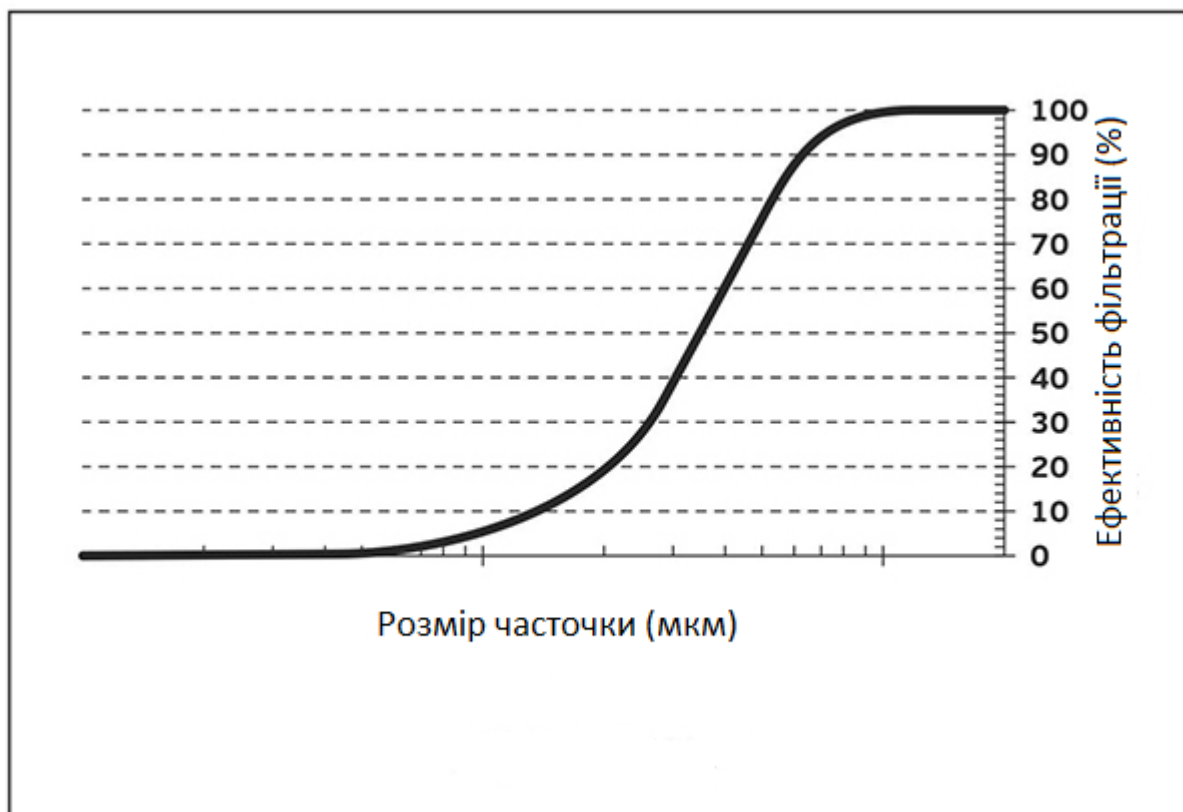


Рис. 7 Ефективність ефекту сита

На графіку немає посилань на конкретні розміри, оскільки фільтри з різною товщиною волокна та різною щільністю упаковки затримують різні фракції частинок. Форма кривої буде приблизно однаковою, але вона може «плавати» в горизонтальному масштабі. Наприклад, для грубого фільтра класу G крива буде розташована праворуч, ніж для тонкого фільтра класу F. У фільтрах HEPA також спостерігається ситовий ефект. І якби HEPA працювала лише над цим механізмом, то крива його ефективності виглядала б приблизно однаково. Однак насправді це виглядає зовсім інакше:

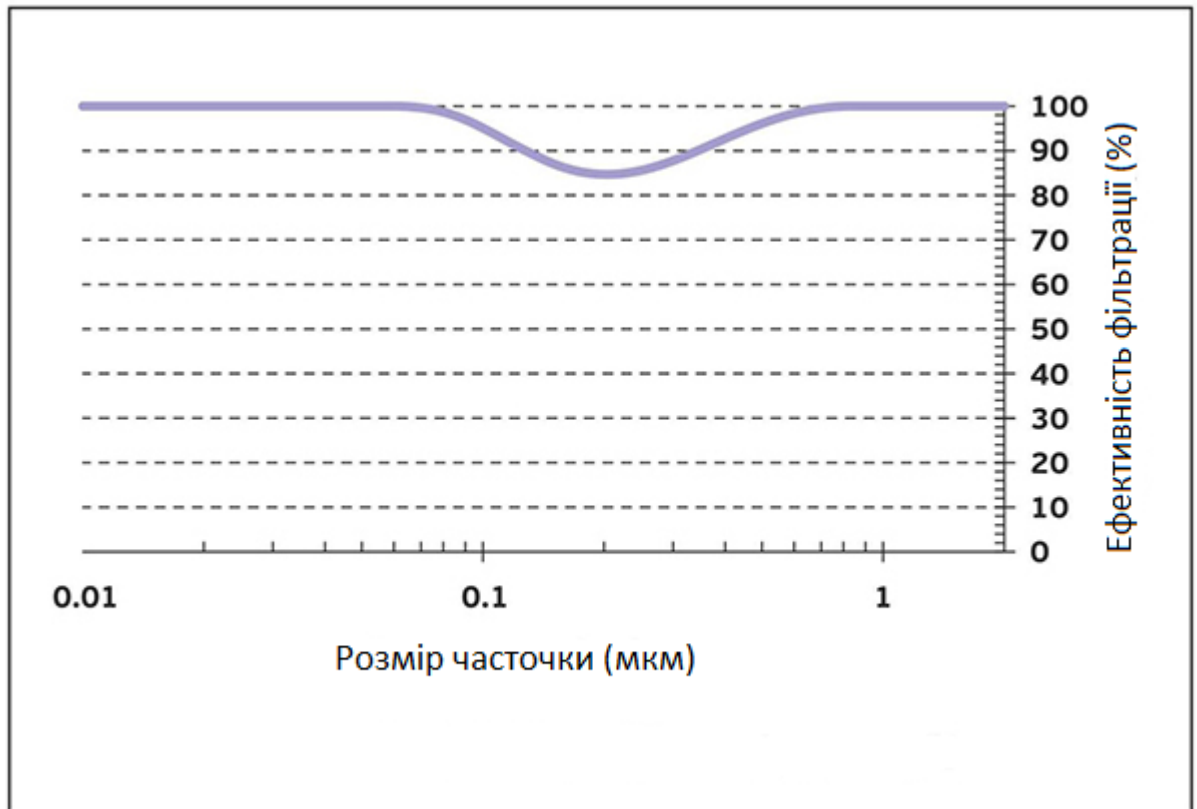


Рис. 8 Ефективність фільтра HEPA

На графіку видно, що фільтр HEPA захоплює частинки будь-якого розміру. І якщо ефективна фільтрація великих частинок (близько 5 мкм і більше) відбувається за допомогою ситового механізму, то фільтрація дрібних фракцій (порядку 1-0,01 мкм) має інший характер.

2.1.3. Як працює HEPA фільтр

Основна відмінність HEPA від грубого та тонкого фільтрів полягає в тому, що частинці не потрібно застрягати у волокнах для фільтрації. Якщо пляма пилу просто торкнулася фільтруючого матеріалу, цього вже достатньо для ефективного осадження. Це пов'язано з двома процесами: адгезією та аутогезією.

Адгезія - це взаємодія пилу з відстійною поверхнею, в нашому випадку, з волокнами HEPA. Через адгезію на чистих волокнах з'являється перший шар пилу.

Аутогезія, або клейкість, - це взаємодія пилових частинок між собою. Завдяки аутогенній взаємодії частинки продовжують перекриватися одна з одною, утворюючи на волокнах багатошарові конгломерати. Вони виглядають так:

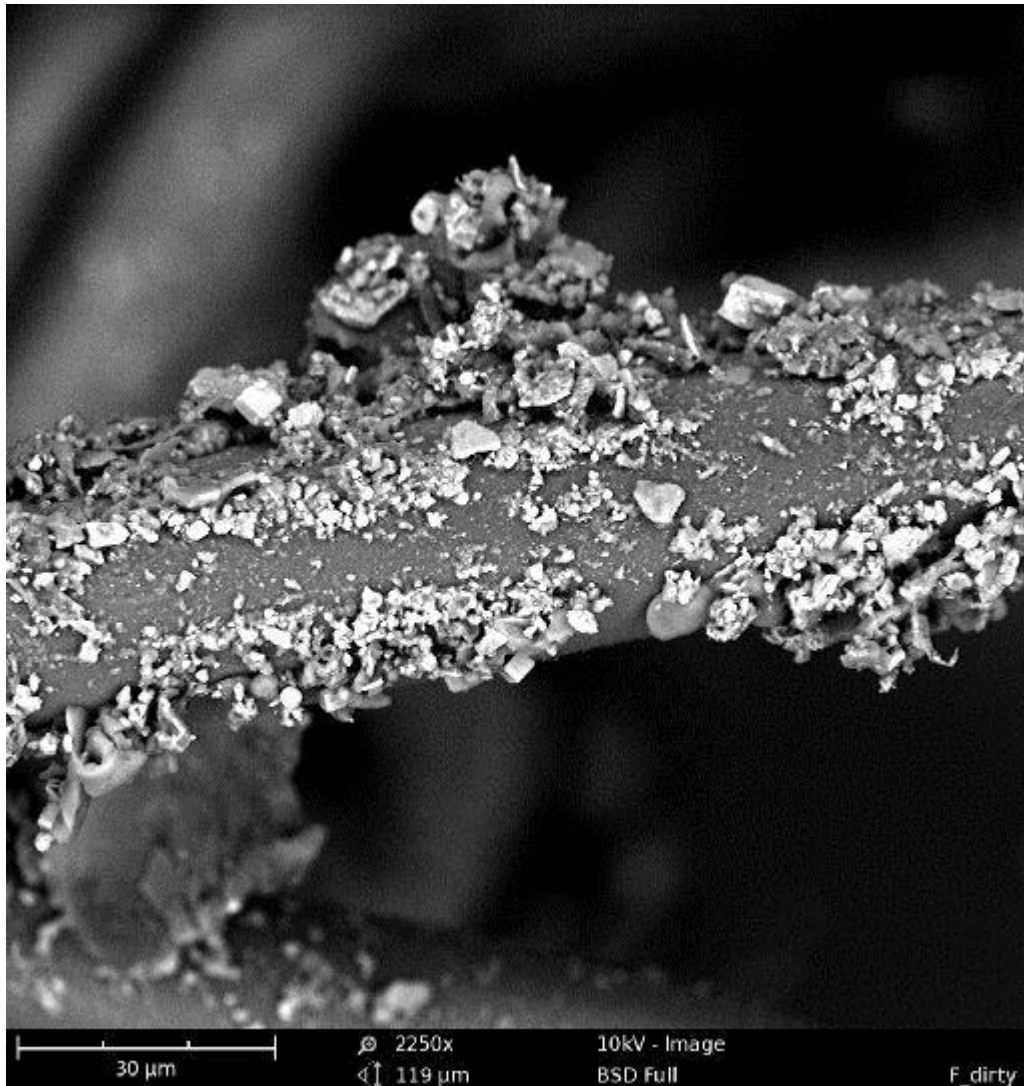


Рис. 9 Аутогезія

Природа адгезії та аутогезії полягає у молекулярній взаємодії частинок між собою та з волокнами (сили Ван-дер-Ваальса). Ці сили з'являються на відстані від однієї до декількох сотень діаметрів частинок. Для найдрібніших частинок потяг до волокна та пилового шару настільки великий, що частинки осідають у фільтрі НЕРА майже назавжди. Цифри підтверджують це: для частинок менше 10 мкм міцність на розрив пилового шару перевищує 600 Па.

Тож, завдяки силам притягання, частинка майже міцно прилягає до волокна фільтра НЕРА, потрібно просто торкнутися його поверхні. Це пояснює утримання частинок на фільтрі, але відповіді на питання досі немає:

2.1.4. Як найменші часточки торкаються волокна НЕРА-фільтра?

Як ми з'ясували, ефект сита не має нічого спільного - найдрібніші частинки вільно пролітають через пори. Інші механізми працюють у фільтрах НЕРА.

Будь-яка частинка утримується у повітряному потоці, і якщо у фільтрі немає сил, які відхиляють частинку від лінії потоку повітря у бік волокна, то осадження не буде. В результаті частинка прослизне через фільтр разом з потоком. Тому питання "Як частинки торкаються волокна?" Можна перефразувати: "Як частинки залишають повітряний потік?", І відповідь на нього буде різною, залежно від розміру і маси частинки.

Найдрібніші частинки (діаметром менше 0,1 мкм) мають невелику масу і постійно перебувають у хаотичному броунівському русі. Їх траєкторія постійно коливається відносно лінії потоку повітря. Під час коливань частинка виходить з потоку, торкається волокна і осідає. Це дифузійний ефект:

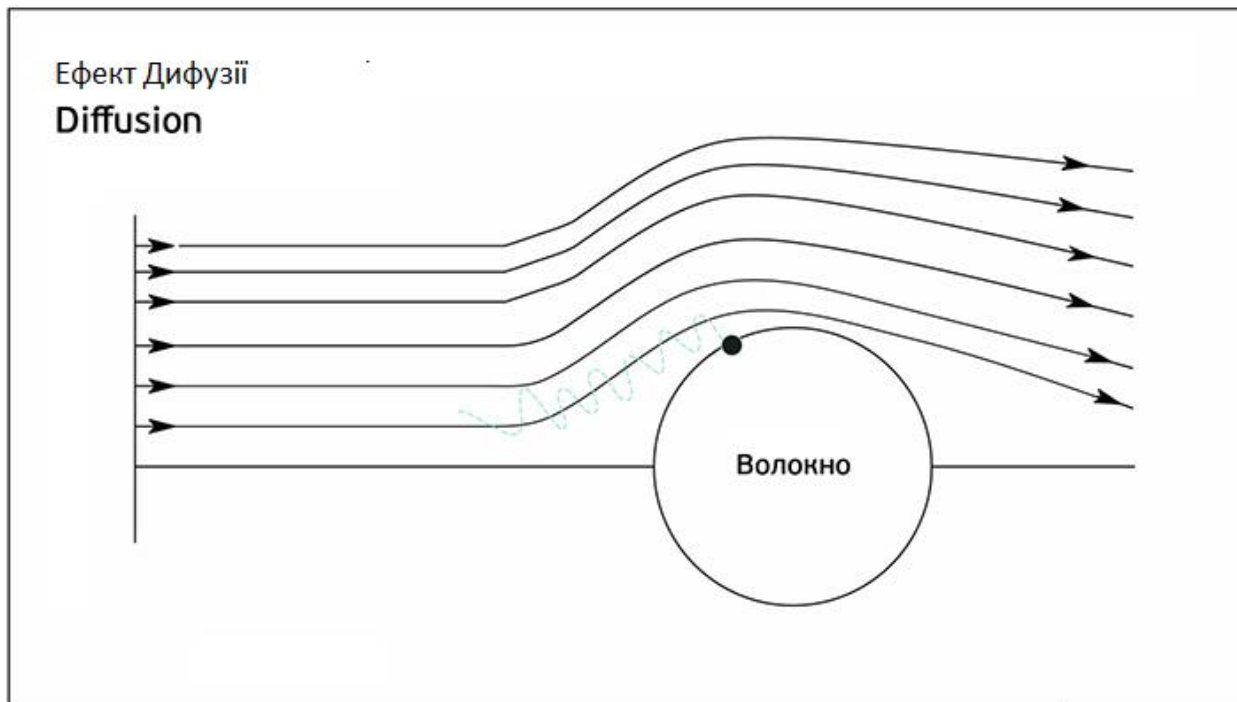


Рис. 10 Дифузія

Більші частинки (діаметром більше 0,3 мкм) важать більше, тому їх коливання відносно поточної лінії менші або взагалі відсутні. Такі частинки осідають іншим механізмом. Модель показує, що повітряний потік кривих біля волокна, вигинаючи перешкоду. Великі і важкі частинки через інерцію виходять з повітряного потоку, стикаються з волокном і осідають. Це ефект інерції:

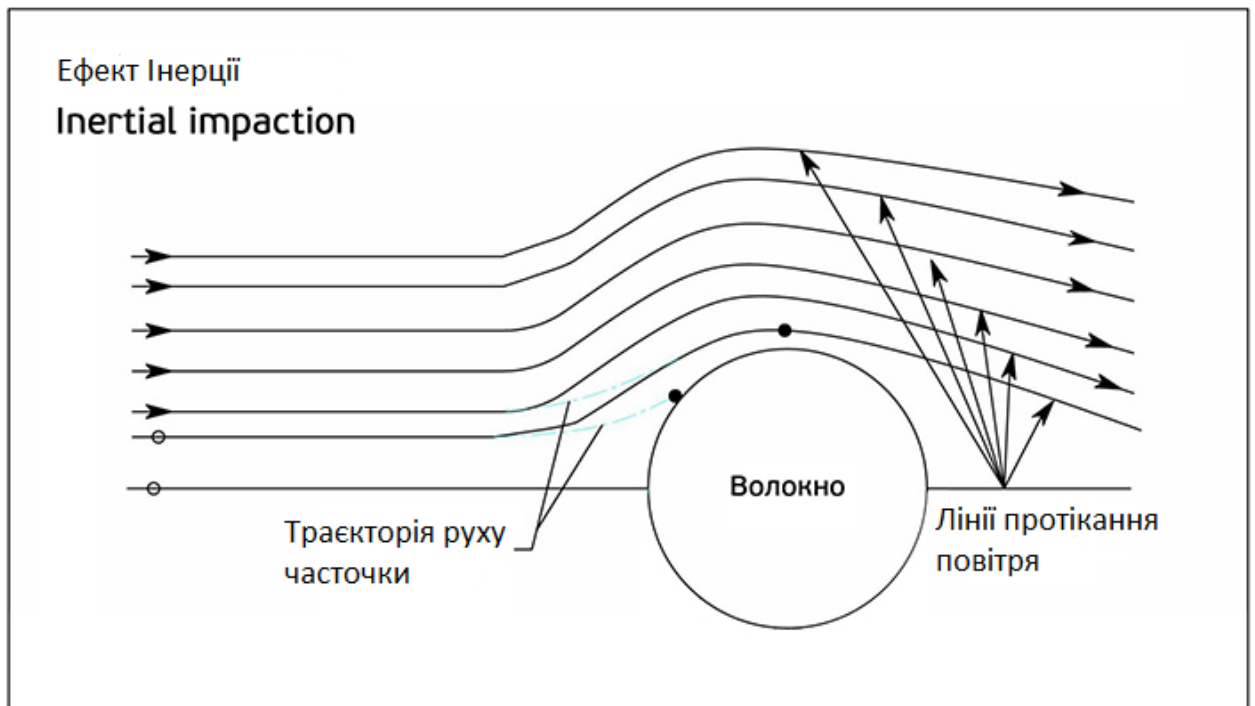


Рис. 11 Інерція

Дифузійний та інерційні ефекти доповнюють один одного: один відповідає за фільтрацію найдрібніших частинок, інший за більші:

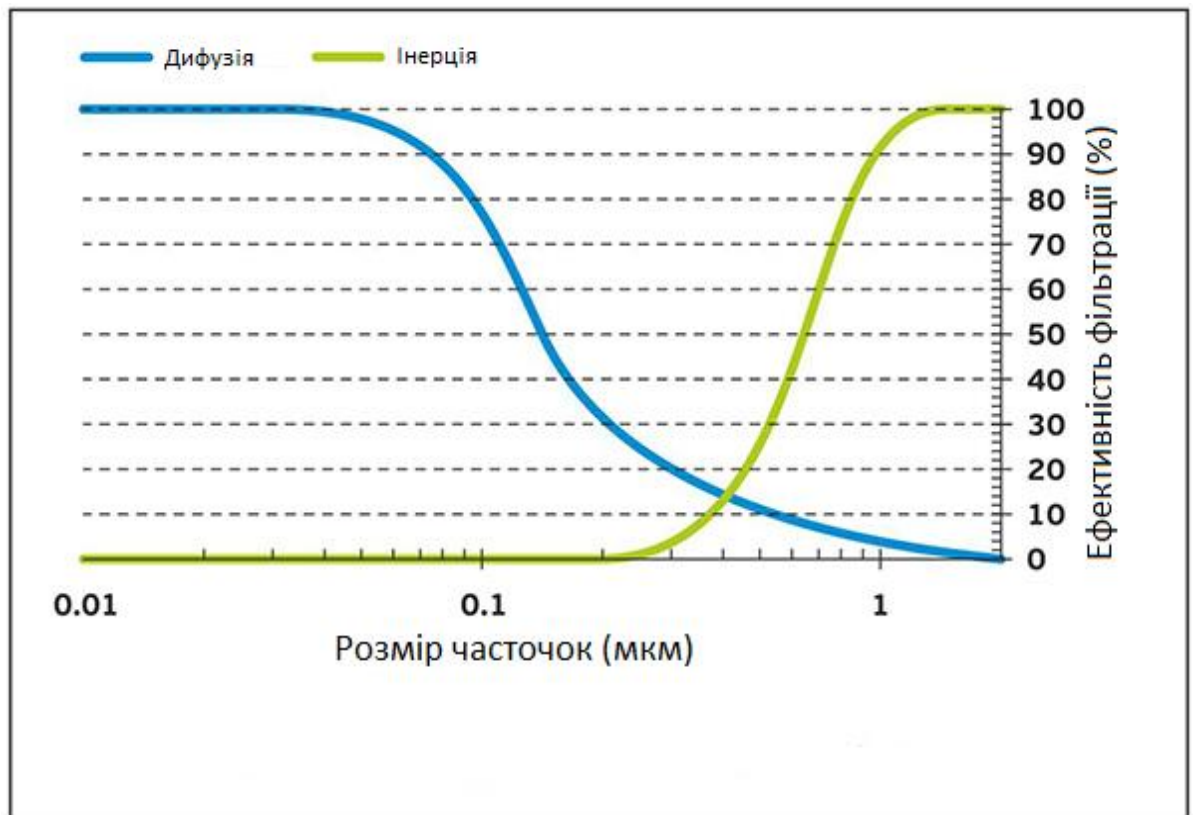


Рис. 12 Ефект дифузії та інерції

Найскладніше – відфільтрувати частинки з «проміжним» розміром. Їх інерція все ще недостатньо велика, і дифузія вже працює слабо, оскільки коливання їх траєкторії відносно потоку вже не такі сильні. Тому такі частки частіше залишаються в потоці і огинають волокна разом з повітрям. Їх називають частинками з максимальним проникненням, найбільш проникаючими розмірами частинок (MPPS). А для їх осадження найбільше значення має останній механізм - ефект залучення:

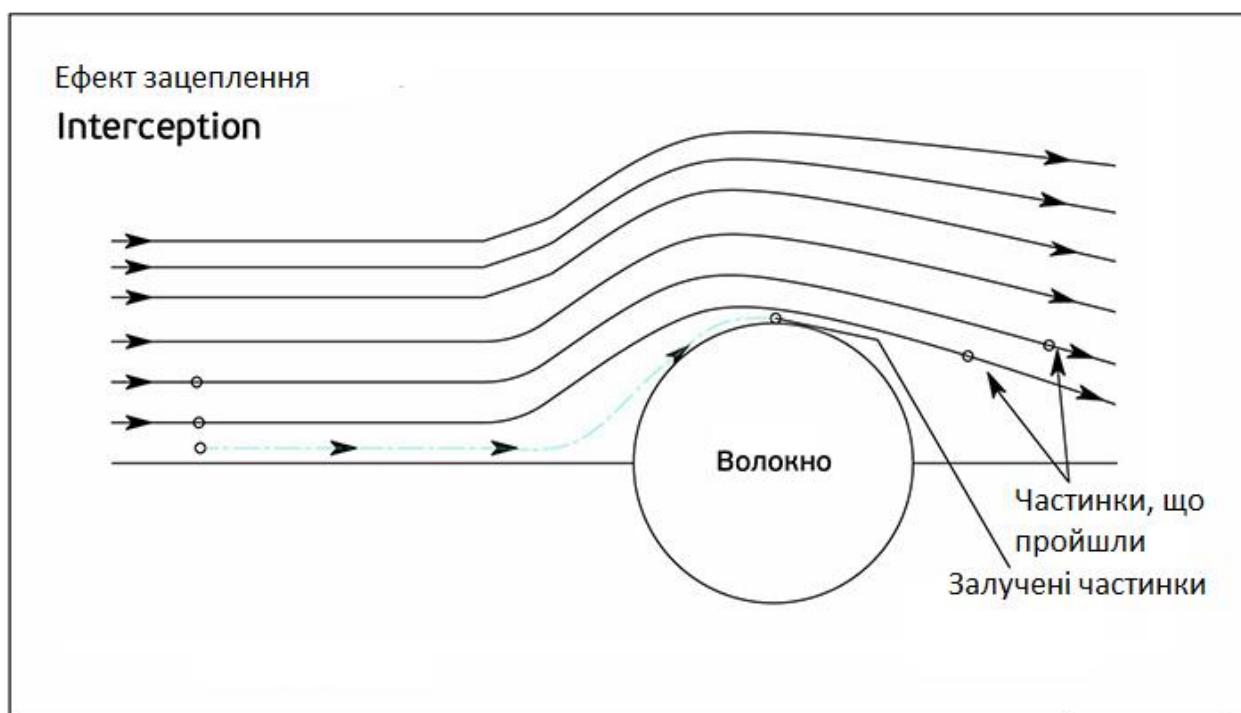


Рис. 13 Ефект зацеплення

Ефект зацеплення діє, коли частинка наближається до поверхні волокна на відстані його радіусу. Цього достатньо, щоб осадити її. Цей механізм працює не тільки для MPPS. Він універсальний і працює для частинок будь-якого розміру. Частинки пилу можуть залишатися у повітряному потоці, робити дифузійні коливання відносно потоку або вилітати з потоку через інерцію - у будь-якому випадку, якщо частинка торкнеться волокна, вона осідає.

Ефективність цього механізму залежить від розміру частинок. Чим більша частинка, тим більше шансів торкнутися волокна. У цьому ефект зачеплення схожий на ситовий ефект, тому графік майже однаковий (звичайно, з посиланням на різний діапазон частинок):

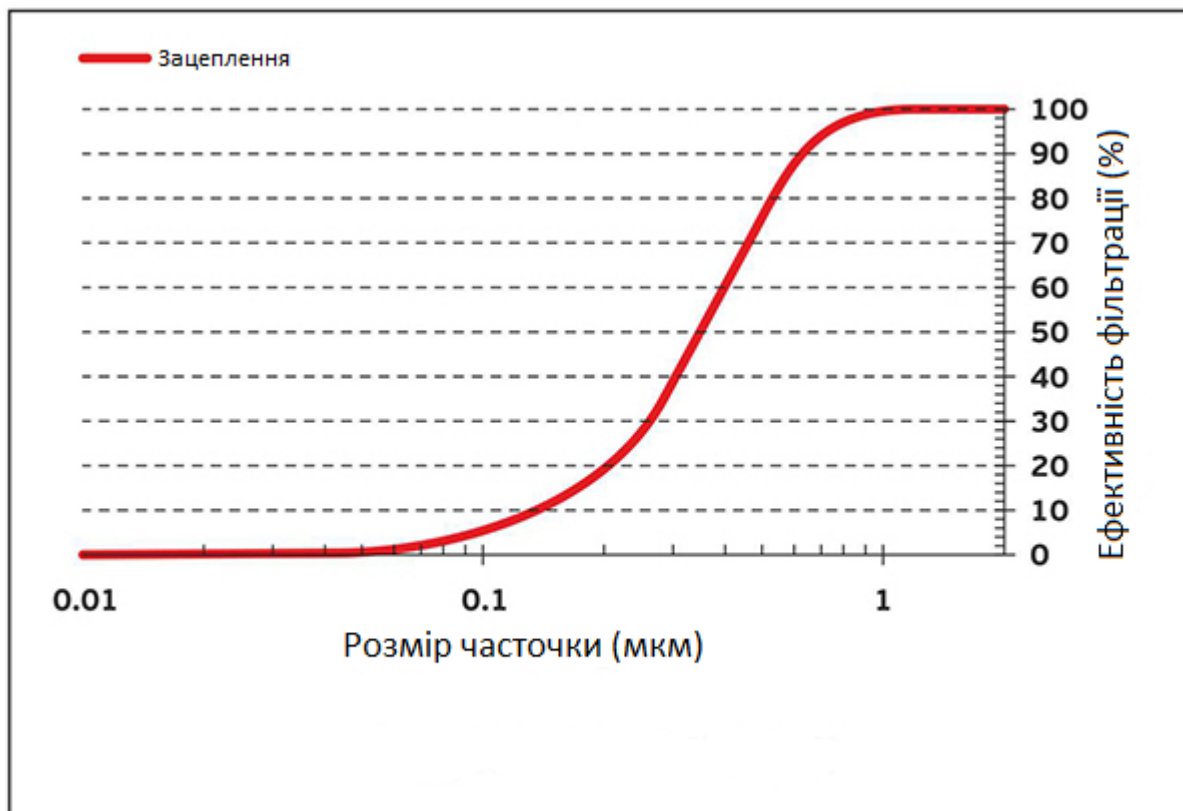


Рис. 14 Ефект зачеплення

Насправді всі механізми одночасно діють на фільтр НЕРА, тому загальна ефективність фільтра НЕРА дорівнює сумі внеску кожного ефекту:

$$\eta_{\text{спільна}} = \eta_{\text{сита}} + \eta_{\text{зачеплення}} + \eta_{\text{інерції}} + \eta_{\text{дифузії}}$$

Якщо постійно навантажувати фільтр НЕРА аерозолем з великими частинками, термін служби фільтра значно скорочується. Це пов'язано з ефектом сита: великі частинки швидко засмічують фільтр і знижують його проникність. Щоб уникнути ефекту сита, перед фільтром НЕРА встановлюють один або більше низькосортних фільтрів: G та / або F. Вони

захищають НЕРА від передчасного засмічення. Якщо встановлені попередні фільтри, то НЕРА працює строго "за фахом" - фільтруючи дрібні частинки. Таким чином, три ефекти залишаються:

$$\eta_{\text{спільна}} = \eta_{\text{зацеплення}} + \eta_{\text{інерції}} + \eta_{\text{дифузії}}$$

Якщо додати всі три графіки ефективності для кожного механізму, ми отримаємо саму криву загальної ефективності фільтра НЕРА:

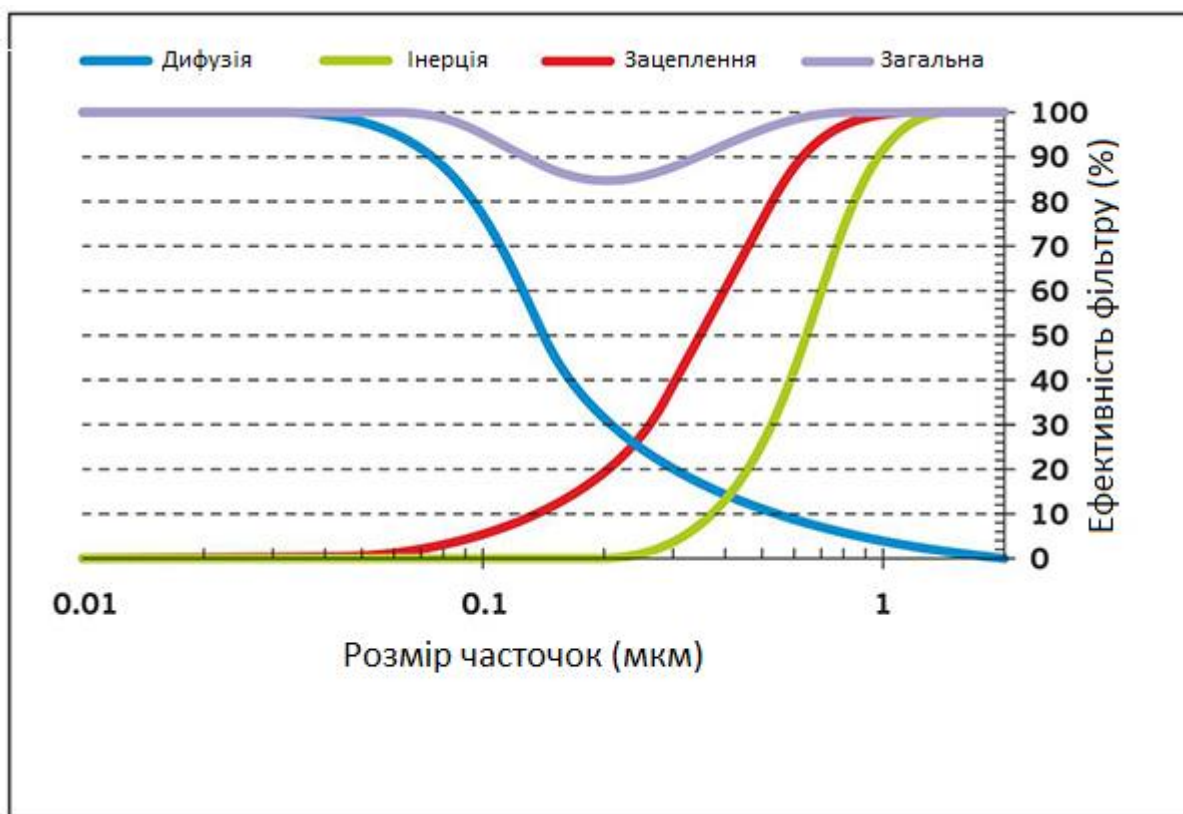


Рис. 15 Ефективність НЕРА фільтру

Як видно в діапазоні MPPS (приблизно від 0,1 до 0,3 мкм), загальна ефективність фільтра НЕРА "потрапляє в яму". І саме MPPS вимірює загальну ефективність. Фільтр НЕРА класу Н10 (за новою номенклатурою Е10) працює з ефективністю понад 85%, а фільтр класу Н11 (Е11) - понад 95%. Це означає, що 95 з 100 MPPS частинок осідають у фільтрі Е11 НЕРА.

У цьому випадку решта частинок осідають з вірогідністю майже 100%, але кінцева ефективність зазвичай вказується MPPS, 95%.

2.1.5. Від чого залежить ефективність НЕРА фільтра?

- Діаметр волокон у фільтрі НЕРА
- Щільність пакування волокна
- Волоконний матеріал

Чим тонші волокна і щільніше вони упаковані, тим більша площа їх контакту з частинками. І чим краще волокна «вловлюються», тим ефективніше осадження. Якщо матеріал, з якого виготовлений фільтр, має високу провідність, то волокна можуть заряджатися у повітряному потоці. У цьому випадку між волокнами і частинками виникають сили електростатичного притягання (кулонівські сили). Вони додатково підвищують ефективність фільтра НЕРА.

При осіданні частинок відстань між волокнами зменшується:

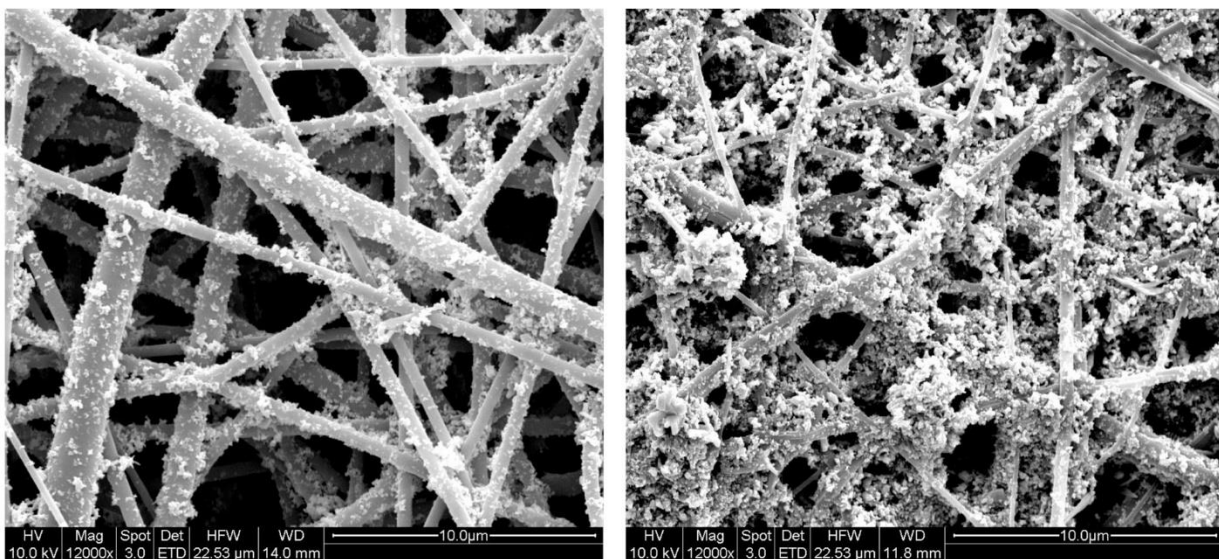


Рис. 16 До та після осідання часточок

В результаті площа волокон збільшується, і з цим пов'язаний парадоксальний факт: з часом ефективність НЕРА не зменшується, а зростає. З іншого боку, при забрудненні зменшується проникність фільтра, збільшується його опір, збільшується перепад тиску через фільтр, і, як наслідок, знижується продуктивність пристрою, в який він встановлений. Якщо фільтр повністю засмічений, а продуктивність пристрою падає майже до нуля, єдиний вихід - замінити фільтр. Частота заміни залежить від ємності фільтра. Цей показник визначає, яка кількість пилу НЕРА може осаджуватися до того, як перепад тиску через неї стане критичним.

Основні аспекти роботи НЕРА-фільтру:

1. Повітряний потік з частинками пилу різних розмірів, від 10 мкм і менше, потрапляє у фільтр
2. Великі частинки залишають повітряний потік завдяки інерційному ефекту, маленькі частинки - завдяки дифузійному ефекту
3. Усі частинки, що виходять з потоку і торкаються волокна, осідають на фільтрі
4. Частинки міцно тримаються на волокні завдяки притягувальним силам (ван дер Ваальс)

Всі неочевидні факти про НЕРА-фільтр:

- НЕРА-фільтр може захоплювати частинки будь-яких розмірів
- Пил затримується у фільтрі НЕРА майже назавжди.
- З часом ефективність фільтра НЕРА лише зростає.

2.2.1. Нормативний огляд

Загальні вимоги до підтримання позитивного дисбалансу в чистих приміщеннях наведені у ЗП 60.13330.2016 «Опалення, вентиляція та кондиціонування. Оновлено видання SNiP 41-01-2003 »[1].

Згідно з пунктом 7.5.4 цього документа, за відсутності тамбура швидкість потоку повітря для забезпечення дисбалансу повинна створювати різницю тиску щонайменше на 10 Па щодо тиску в приміщенні, що охороняється, але не менше 100 м³ / год. для кожної двері.

Більш точні рекомендації дає ГОСТ Р 56638–2015 «Прибиральні приміщення. Вентиляція та кондиціонування. Загальні вимоги "[2], де "підтримка позитивного чи негативного тиску повітря в приміщенні" безпосередньо називається завданням системи вентиляції та кондиціонування повітря. Документ вводить поняття "витік повітря", що виникає внаслідок перепаду тиску між приміщеннями , і вимагає, щоб обсяг витоку був розрахований і врахований при балансі обміну повітря. У Додатку В до стандарту наведено приклад таблиці балансів повітрообміну, яка враховує витоки повітря (переливи) як інфільтрацію та знежирення.

У пункті 4.8 документа зазначено, що необхідно регулювати баланс обміну повітря за допомогою клапанів (регуляторів повітряного потоку), встановлених на припливному та (або) витяжних системах. Більш чітких вимог та рекомендацій щодо клапанів, що використовуються в стандарті, немає.

ГОСТ 56190–2014 «Прибиральні приміщення. Методи енергозбереження »[3] містять вимогу вживати загальних та спеціальних енергозберігаючих заходів під час проектування, включаючи, згідно з пунктом 4.4.2, передбачати регулювання потоку повітря за допомогою автоматизації, наприклад, встановлені режими для робочий та неробочий час та підтримують параметри мікроклімату на основі конкретних умов.

Для підтримки чистоти повітря в медичних установах стандарт ГОСТ 52539-2006 [4] вимагає використання, зокрема, принципу диференціального тиску. Згідно з п. 5.3.3 документа, різниця тиску повітря між сусідніми приміщеннями з різними класами чистоти повинна бути не менше 10-15 Па. Для безперешкодного відкривання дверей рекомендований перепад тиску між сусідніми приміщеннями, розділеними дверима, не повинен перевищувати 20 Па.

Стандарт ГОСТ ISO 14644-4-2002 «Чисті кімнати та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 4 »[5] в основному застосовується до виробничих чистих приміщень. Щоб захистити їх від зовнішнього забруднення, необхідно підтримувати більш високий статичний тиск порівняно з сусідніми районами. Для виробничих процесів важливо не допустити навіть короткочасного виникнення зворотного потоку повітря, тому перепад тиску повинен бути стабільним і достатнім.

Відповідно до стандарту, падіння тиску слід підтримувати, використовуючи різні методи врівноваження повітряних потоків (активні / автоматизовані та пасивні / ручні системи), при цьому відносна кількість повітря, яке подається в кожную зону системою подачі повітря та видаляється з неї через повітроводи або іншим способом повинні регулюватися.

Пункт 4.21 стандарту ГОСТ 52249-2009 «Правила виробництва та контролю якості лікарських засобів (GMP)» [6], крім підтримки перепадів тиску, вимагає на кожному технологічному етапі контролювати та контролювати параметри приміщення, в т.ч. повітряний тиск. Для виробництва ряду лікарських засобів використовуються ізолювані приміщення, в яких підтримується негативний перепад тиску (вакуум).

Але найбільш серйозні та складні вимоги до падіння тиску висуваються набором правил СП 1.3.3118-13 "Безпека роботи з мікроорганізмами I - II груп патогенності" [7]. Приміщення «інфекційної» зони лабораторій повинні бути обладнані системами подачі та витяжної механічної вентиляції, які забезпечують, серед іншого, «створення та підтримання необхідного значення негативного тиску (вакууму) щодо навколишнього середовища». Більше того, залежно від призначення приміщення визначається значення вакууму 50 і 100 Па. Для найбільш небезпечних ізоляційних приміщень необхідно створити та підтримувати вакуум 200-250 Па з постійним автоматичним регулюванням та реєстрацією параметрів.

Таким чином, існуюча база чітко визначає вимоги до створення та підтримки перепаду тиску в приміщеннях різного призначення. У той же час у довідковій літературі не так багато інформації та рекомендацій щодо практичної організації диференціального тиску, вибору ланцюгів і технічних рішень, обладнання, автоматичного регулювання, точності та швидкості роботи системи, алгоритмів управління та управління основні робочі параметри.

2.2.2. Герметичність приміщення та повітряний потік

Розглянемо повністю герметичне приміщення, яке обслуговується системою подачі та витяжної вентиляції. У тому випадку, коли об'єм подається повітря точно відповідає об'єму відпрацьованого повітря, в приміщенні буде підтримуватися стабільний тиск щодо атмосферного тиску. Як тільки об'єм подається повітря стане більшим за об'єм відпрацьованого повітря, повітряний баланс буде порушений, а тиск у приміщенні почне різко зростати.

Це впливає з рівняння Бернуллі, рішення якого можна використовувати для визначення надлишкового тиску:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{dL}{F \cdot \mu} \right)^2, \quad (1)$$

де ρ - густина повітря;

F - площа витоків (зазорів), м²;

dL - різниця між подачею і витратою повітря (витік);

μ - коефіцієнт витрати.

Згідно з рівнянням (1), надмірний тиск пропорційний витоку повітря з приміщення, тобто різниці між витратами подачі та вихлопу повітря, і обернено пропорційний площі різних типів протікань в оболонці будівлі, через яке повітря може проникати в сусідні приміщення.

Коефіцієнт витрати μ для круглого отвору приймається 0,6–0,62, але щодо вентиляції приміщення, де в основному зустрічаються довгі тонкі прорізи з гострими краями, рекомендується взяти коефіцієнт $\mu = 0,72$.

$$\Delta P \sim \left(\frac{dL}{F} \right)^2. \quad (2)$$

Якби приміщення було абсолютно повітронепроникним, тобто площа прорізів в ньому тяжіла до нуля, то навіть найнезначніші відхилення в балансі між поданим і відпрацьованим повітрям призвели б до різкого стрибка тиску:

Якщо приміщення абсолютно герметичне, як сталевий циліндр для стисненого повітря, то навіть при незначній різниці балансу подається і

вихлопного повітря тиск всередині зросте на стільки, скільки дозволяє тиск вентилятора. Тому, щоб контролювати стабільний тиск у повністю герметичному провітрюваному приміщенні, необхідно точно і швидко регулювати об'єм повітря що надходить та відпрацьованого, що майже неможливо в більшості випадків.

У реальних умовах огорожувальні конструкції навіть самих повітронепроникних приміщень - стіни, стеля і, звичайно, двері - мають різного роду протікання. Як тільки в одному приміщенні з'являється надлишковий тиск по відношенню до сусідніх, з'являються витoki повітря (переливи) - ексфільтрація та проникнення. Завдяки невеликим переливам технічно стає можливим стабільно підтримувати різницю тиску в приміщенні щодо сусідніх приміщень. Якщо герметичність приміщення недостатньо висока, тобто площа прорізів F занадто велика, то для підтримки тиску потрібен дуже великий дисбаланс dL . Під час введення в експлуатацію через реальну низьку герметичність приміщення необхідний тиск просто неможливо створити, незважаючи на значний дисбаланс потоку повітря.

Таким чином, для контролю за перепадом тиску в приміщенні необхідно вміти контролювати баланс потоку подачі та вихлопу повітря та забезпечувати прийнятний рівень переливів. Тобто потрібні точні регулятори потоку повітря, і оболонка будівлі не повинна бути ідеально герметичною, але в той же час повинна забезпечувати мінімальний витік повітря.

Якщо ви знаєте бажане значення падіння тиску в приміщенні, ви можете визначити необхідну кількість переливів (різниця між витратами подачі та вихлопу повітря), наприклад, за формулою, рекомендованою ASHRAE Fund.97, p25 .11:

$$dL = 3600 \cdot F \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (3)$$

У нормативній базі також існує вимога обчислення витоку повітря для кожної кімнати та обліку повітрообміну в балансі [2]. А для обчислення кількості повітря, що проходить через дверну щілину (передбачається, що в кімнаті немає інших дихаючих прорізів), пропонується використовувати формулу

$$L_g = F_g \cdot \sum \varepsilon \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot 3600, \quad (4)$$

котра описує той самий процес, що і (3), але замість коефіцієнта потоку $\mu = 0,6-0,72$ використовується локальний коефіцієнт опору $= 0,85$, а компонент $\rho / 2$, який становить $0,6$ для повітря, відсутній. У результаті потоки, обчислені за формулою (4), виходять дещо нижчими.

Розглянемо ситуацію, коли потрібно підтримувати надлишковий тиск 15 Па у приміщенні з високою щільністю із зазором $0,001$ м² та у приміщенні з відносно низькою герметичністю із площею зазору $0,01$ м², що умовно відповідає зазору під дверцята 1 мм і шириною 1 см відповідно. Використовуючи формулу (3), отримуємо:

$$dL_{0,001} = 3600 \cdot 0,001 \cdot 0,72 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 15}{1,2}} = 12,9 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$dL_{0,01} = 3600 \cdot 0,01 \cdot 0,72 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 15}{1,2}} = 129,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

У першому випадку для досягнення результату необхідно, щоб різниця між припливним та витяжним dL становила $12,9$ м³ / год, у другому - $129,6$ м³ / год.

Для оцінки впливу герметичності на вимоги обладнання для вентиляційної системи ми порівнюємо дві кімнати, в яких потрібно падіння тиску на 15 Па. Припустимо, в приміщенні №1 об'ємом 15 м³ слід

забезпечити обмін повітря 450 м³ / год. При високій герметичності дисбаланс 12,9 м³ / год становить лише 3% потоку повітря, що подається, і буде складно підтримувати таку точність подачі повітря, а невеликі відхилення потоку повітря призведуть до значних коливань тиску. У той же час, при дисбалансі 129,6 м³ / год різниця між витратами подачі та вихлопного повітря становитиме 29%, і набагато простіше забезпечити регулювання в цьому діапазоні, однак різниця між подачею та вихлопом повітря буде дуже значним, що може виявитися неприйнятним. Наприклад, необхідна витрата вихлопного повітря не буде достатньою або не вистачатиме продуктивності системи подачі. Для більшої кімнати №2 об'ємом 70 м³ при обміні повітря 2100 м³/год дисбаланс 12,9 м³/год становитиме лише 0,6% від загальної витрати води, а 129,6 м³/год - 6%. Якщо приміщення №2 занадто тісне, підтримати заданий тиск у ньому технічно неможливо, оскільки точність управління 0,6% недосяжна для більшості моделей сучасних регуляторів повітряного потоку. Але забезпечити дисбаланс 129,6 м³/год буде просто.

Загалом, для стабільного підтримання перепаду тиску рекомендується витрата становить 5–15% від загального потоку повітря для вентиляції.

Дисбаланс, необхідний для підтримки падіння тиску, не залежить від об'єму приміщення і визначається лише його герметичністю. У той же час обсяги поданого і відпрацьованого повітря визначають необхідну точність регулювання потоку. Набагато простіше підтримувати дисбаланс у 100 м³/год із загальною витратою 1000 м³/год, ніж зі швидкістю потоку 20000 м³/год. Тому приміщення невеликого об'єму повинні бути більш герметичними, ніж великі приміщення з великим обміном повітря.

2.2.3 Підтримання балансу витрати і тиску в приміщеннях. Огляд системи.

На сьогодні якість продукції, а отже, і здоров'я людини, неможлива без контролю забруднення. У таких галузях, як аерокосмічна, мікроелектроніка, фармацевтична та харчова продукція, медичні вироби та охорона здоров'я - тобто там, де потрібні високотехнологічні операції - високі вимоги до якості повітря в чистих приміщеннях.

Відповідно до [3-5] "Чиста кімната - це приміщення, в якому контролюється концентрація суспендованих у повітрі частинок пилу, та яке будується та використовується таким чином, щоб мінімізувати надходження, викид та утримання частинок всередині приміщення. і в якому, за необхідності, контролюються інші параметри, наприклад; температура, вологість і тиск. "

Відповідно до максимальної концентрації (кількість частинок / м³ повітря) у діапазоні розмірів частинок від 5 до 0,1 мкм, чисті приміщення поділяють на класи ISO, деталі яких наведені в табл. один.

Клас чистоти	Розмір частинок					
	≥ 0,1	≥ 0,2	≥ 0,3	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 5,0
1 ISO	10	2				
2 ISO	100	24	10	4		
3 ISO	1 000	237	102	35	8	
4 ISO	10 000	2 370	1 020	352	83	
5 ISO	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
6 ISO	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293

7 ICO				352 000	83 200	2 930
8 ICO				3 520 000	832 000	29 300
9 ICO				35 200 000	8 320 000	293 000

Рис. 17 Максимальна концентрація частинок в 1 м³ повітря для приміщень різних класів чистоти по ГОСТ ISO 14644-1

Отже, основними забруднювачами є зважені суспендовані частинки у повітрі, які можуть потрапити в чисте приміщення як з навколишнього повітря, так і виділитися всередині приміщення. Ось далеко не повний перелік того, що може містити повітря навколо нас: пил, квітковий пилок, тютюновий дим, смог, бактерії, віруси, грибки тощо. В приміщенні основним джерелом частинок є людина, наприклад, при інтенсивному русі, людина викидає до **10 мільйонів** частинок розміром від 0,5 мкм і більше в хвилину. Ще одне джерело забруднення - технологічне обладнання (частинки покриття та матеріалів).

В середньому в чистому приміщенні приплив мікрозабруднень складає 70–80% від людей, 15–20% від обладнання та лише 5–10% від атмосферного повітря через протікання констркції будівлі. Залежно від сфери використання чистого приміщення, частка джерел мікрозабруднення може змінюватись, наприклад, в мікроелектроніці частка людини становить 35%. [6]

Щоб зменшити приплив мікрозабруднення з простору, що оточує чисту кімнату, застосовуються певні архітектурно-планувальні рішення:

- 1.Конструктивні елементи з підвищеною герметичністю. Це елементи стін, дверей і стелі, які мають необхідну герметичність і міцність, що дозволяє їм протистояти великим перепадам тиску.
- 2.Тамбури та замки - елементи, що забезпечують переміщення персоналу та виробів на ПЗВ та зменшують проникнення забруднення ззовні.
- 3.Спеціальні високоефективні кінцеві фільтри, через які очищене повітря подається в чисту зону.
- 4.Каскадне підвищення (зменшення) тиску повітря в приміщенні відповідно до класу чистоти.

Проблеми, що виникають під час експлуатації чистих приміщень, можна коротко розділити на наступні:

Рух персоналу та виробу пов'язаний із відкриттям дверей та люків, що призводить до швидкого падіння перепаду тиску між зонами з різними класами чистоти.

Високоєфективні фільтри під час роботи змінюють свої характеристики, оскільки вони забруднюються. Діапазон змін опору фільтра може становити від 150 Па на початку роботи до 600 Па в кінці. Таким же чином змінюється характеристика всієї вентиляційної мережі. Зниження тиску в СЗП відповідно зменшується.

Сучасне рішення цих проблем пов'язане з використанням автоматичного управління працездатністю вентиляційних установок і клапанів постійного і змінного потоку повітря (CAV і VAV-регулятори).

Утримання надлишкового тиску в чистому приміщенні також допомагає зменшити приплив шкідливих речовин із сусідніх приміщень.

Для компенсації небезпеки, яку випромінює персонал, застосовується метод розведення небезпеки шляхом застосування чистого повітря. Для очищення повітря, що подається, використовуються багатоступінчасті системи фільтрації, які включають високоєфективні НЕРА (високоєфективні частинки повітря) і навіть фільтри ULPA (повітря з низьким рівнем проникнення). Класи фільтрації [7], відповідні цим фільтрам, наведені в табл. 2.

Група фільтрів	Клас фільтра	Значення ефективності, %	Примітки
Фільтри загального призначення			
Фільтри грубої очистки (попередні фільтри)	G1	менше 65	Ефективність визначається по синтетичній пилі з частинками (більше 2 мкм).
	G2	від 65 до 80	
	G3	від 80 до 90	
	G4	більше 90	
Фільтри тонкої очистки	F5	від 40 до 60	Ефективність визначається по атмосферному пилю, що містить незначні частинки (менше 1 мкм).
	F6	від 60 до 80	
	F7	від 80 до 90	
	F8	від 90 до 95	
	F9	більше 95	
Фільтри спеціального призначення			
Фільтри високої ефективності (HEPA)	H10	85	Ефективність визначається по пилю з особливо дрібними частинками (орієнтовно від 0,1 до 0,5 мкм).
	H11	95	
	H12	99,5	
	H13	99,95	
	H14	99,995	
Фільтри надвисокої ефективності (ULPA)	U15	99,9995	
	U16	99,99995	
	U17	99,999995	

Рис. 18 Класифікація фільтрів

Клас очистки HEPA фільтрів: **EN 779: H10-H14**

Матеріал фільтра: **мікростекловолокно**

Рамка фільтра: **МДФ, алюмінієвий, оцинкований, нержавіючий профіль**

Розміри, мм	Площа фільтроматеріала, м ²	Продуктивність, м ³ /час	Стартовий опір, Па
----------------	---	--	-----------------------

610x610x78	7,6	1000	250
305x610x78	3,8	450	250
305x305x78	1,9	200	250
610x610x150	21	2400	250
305x610x150	10,5	1200	250
305x305x150	5,2	600	250
610x610x300	29,6	3300	250
305x610x300	14,8	1600	250
305x305x300	7,4	800	250

Рис. 19 Технічні дані фільтрів HEPA для систем вентиляції повітря

ФТОП (HEPA) H10-H14	610x610x78	610x610x150	610x610x292
Стартовий опір, Па	250	215	280
Кінцевий опір, Па	600	600	600
Продуктивність, м3/ч	1200	1450	2000
Ефективність для MPPS, %	>99.95	>99.95	>99.95
Площа фільтроматеріала, м2	12	14,5	20

Рис. 20 Характеристика фільтрів HEPA для систем вентиляції

Категорія фільтра EN1822	Інтегральне значення		Локальне значення	
	Ефективність, %	Проскок, %	Ефективність, %	Проскок, %
H-10	85	15	-	-
H-11	95	5	-	-
H-12	99,5	0,5	-	-
H-13	99,95	0,05	99,75	0,25
H-14	99,995	0,005	99,975	0,025
U-15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
U-16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025

U-17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001
------	-----------	----------	---------	--------

Рис. 21 Класифікація HEPA та ULPA фільтрів

Відповідно до призначення чистої кімнати (мікроелектроніка, космічна промисловість, охорона здоров'я, фармацевтика тощо) та залежно від її класу існують стандартні рішення, що регулюють кількість стадій очищення повітря та клас фільтрів. Наприклад, для виробництва стерильних лікарських препаратів у чистих приміщеннях класу ISO 5 рекомендується використовувати три стадії очищення фільтрами класів F5, F9, H14. Більше того, якщо грубі та дрібні фільтри можуть бути розміщені безпосередньо в блоці управління повітрям, то фільтри HEPA зазвичай розміщують на стелі чистого приміщення в так званих фільтрах прямого розподілу повітря.

2.3.2. Проблематика чистих приміщень, на які слід звернути увагу при проектуванні вентиляційних систем

1. Наявність огорожувальних конструкцій із підвищеною герметичністю. Надлишок потоку повітря може призвести до неконтрольованого надлишку тиску в чистому приміщенні і, як наслідок, до деформації оболонки будівлі та порушення герметичності приміщення.

Рішення. Необхідність підтримки та контролю надлишкового тиску в чистому приміщенні.

2. Наявність вестибюльного шлюзу.

При наявності надлишкового тиску в чистому приміщенні відкриття вестибюльного шлюзу супроводжується значним зниженням кількості надлишкового тиску (аж до вирівнювання тиску в чистому і "брудному" приміщенні). Наприклад, надлишковий тиск 5 Па не може гарантувати відсутність шкідливих речовин із сусіднього «брудного» приміщення через дверний проріз.

Рішення. Необхідність підтримки та контролю надлишкового тиску в чистому приміщенні.

3. Наявність вискоєфективних фільтрів HEPA у складі системи вентиляції в чистому приміщенні.

Фільтри класів H11 - H14 в чистих приміщеннях є основною причиною, яка суттєво відрізняє процедуру проектування вентиляційної системи в чистому приміщенні від проектування вентиляції в звичайному приміщенні.

Вентиляційні системи звичайних приміщень належать до систем з постійним потоком повітря - систем CAV. Опір мережі в системах CAV, як

правило, незначно змінюється під час роботи. Таким чином, будучи один раз збалансованими, вони не змінюватимуть своїх характеристик у часі.

З системами вентиляції в чистому приміщенні все трохи інакше. Характерною особливістю фільтрів HEPA є значний початковий опір (опір чистого фільтра) і, що найголовніше, значний діапазон змін опору фільтра. Наприклад, опір чистого фільтра класу H14 досягає 350 Па, а остаточний (коли буде досягнуто цей опір - фільтр замінюється) - 650 Па.

Якщо не застосовувати спеціальних методів, то через значну зміну гідравлічного опору HEPA фільтрів в процесі експлуатації також змінюється опір всієї вентиляційної мережі. А це означає, що повітряний потік в чисті приміщення змінюється, тобто, не вживаючи спеціальних заходів для компенсації опору фільтра, вентиляційні системи чистих приміщень відноситимуться до систем зі змінним потоком повітря - VAV-систем.

Існує суперечність - згідно з технологією, потоки повітря, що подаються до чистих приміщень, не повинні змінюватися під час роботи, тобто призначення системи вентиляції чистих приміщень належить до системи CAV. Тут також слід зазначити наступну особливість використання фільтрів HEPA. Якщо чистих кімнат більше, але їх декілька і в кожному приміщенні застосовуються фільтри різних класів або потрібні різні потоки повітря, що подаються, то опір гілок з цими фільтрами не змінюється однаково. Це означає, що під час експлуатації чистих приміщень, навіть у спочатку збалансованих гілках мережі, потік повітря буде все більше і більше відрізнятися від необхідного. Для компенсації цього ефекту необхідно застосовувати спеціальні заходи. У вітчизняній практиці часто використовується регулювання частоти. Однак блок подачі повітря з регулюванням частоти в мережі зі змінним опором здатний підтримувати лише загальний потік і тому може бути ефективним лише для однієї кімнати.

Рішення. Використання регулятора потоку CAV.

2.4. Регулятори та контроль подачі повітря

За допомогою регулятора CAV можна перенести систему VAV в систему CAV. Ідея полягає в тому, що опір контролера CAV + фільтра HEPA є постійним під час роботи. А для цього необхідно, щоб зі збільшенням опору фільтра HEPA опір регулятора CAV пропорційно зменшувався. Реалізація цього алгоритму дозволить нам підтримувати постійну витрату повітря, що надходить у чисте приміщення, та забезпечити автоматичне врівноваження декількох чистих приміщень під час роботи навіть за відсутності регулювання частоти.

Регулятор CAV - це одноступінчастий клапан з центральною віссю обертання (рис. 4). Пелюстка клапана з'єднана з пружиною, яка має

тенденцію відкривати клапан. Під пелюсткою знаходиться невеликий пластиковий пакет з отвором. Збільшення напруги пружини збільшує силу відкриття пелюстки і, як наслідок, змінює настройку клапана на більш високу швидкість потоку. Коли повітря надходить у регулятор, мішок надувається і прагне закрити клапан, а попередньо натягнута пружина прагне відкривати його. Нарешті, дві сили врівноважуються, і пелюстка займає положення, відповідне заданій швидкості потоку повітря, тобто підтримка постійної швидкості потоку повітря реалізується без використання електричних або пневматичних приводів.



Рис. 22 Регулятор CAV від компанії “TROX Technik” для круглої системи вентиляції

Регулятори CAV можуть бути круглими діаметром від 100 до 400 мм, зі швидкістю потоку повітря від 80 до 5000 м³ / год і прямокутні з перетином від 200 x 100 мм до 600 x 600 мм зі швидкістю потоку від 144 до 12 100 м³ / год.

Регулятори CAV мають ряд характерних особливостей, на які слід звернути увагу при їх використанні:

- необхідний мінімальний тиск для роботи регулятора становить 50 Па;
- для кожного розміру регулятора CAV існує діапазон робочого потоку - V_{min} , V_{max} . Наприклад, для діаметра 160 - 216–884 м³ / год відповідно для діаметра 200 - 324–1 294 м³ / год;
- рівень потужності шуму, що створюється контролером CAV, залежить не тільки від потоку повітря, але і від перепаду тиску через контролер.

Зм	Арк	№	Підпис	Дя

ДП.ПМ-81.05ПЗ

Арк.

47

2.4.1. Схема встановлення CAV регулятора

На вході в чистих приміщеннях використовується наступна комбінація (рис. 5): CAV-регулятор + глушник (при необхідності) + запірний клапан (при необхідності) + фільтр прямого розподілу повітря зі змінним фільтром 11 чи 13 класів чистоти (H13, H14).

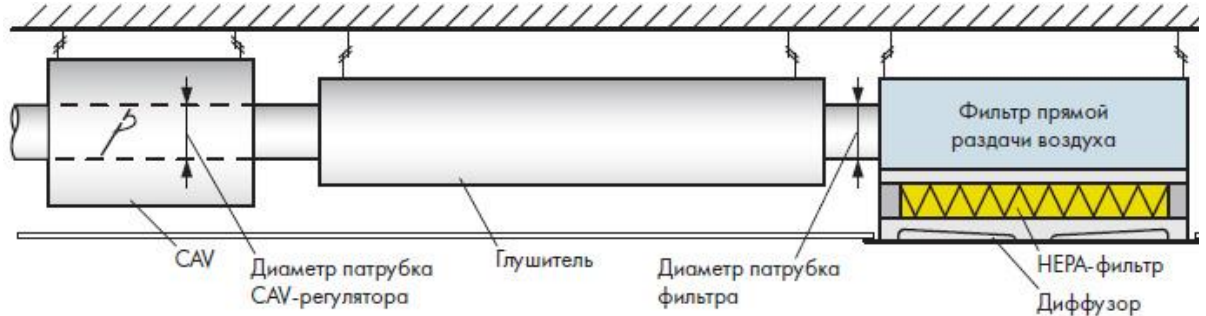


Рис. 23 CAV + фільтр прямого розподілу повітря

Фільтр прямого розподілу повітря встановлюється безпосередньо в чистому приміщенні і являє собою герметичний корпус із герметичною схемою для фільтра HEPA та пристрою розподілу повітря (АСУ). АСУ можуть бути різних конструкцій - перфоровані, завихрені або струменеві. Прямі повітряні фільтри можуть мати круглі або прямокутні насадки, розташовані біля колекції або над нею.

2.4.2. Обладнання та схеми управління для підтримки перепадів тиску

Отже, щоб забезпечити перепад тиску в приміщенні, необхідно створити дисбаланс між подачею та вихлопом.

Теоретично для цього можна використовувати звичайні дросельні клапани і спробувати зафіксувати систему вручну, але при будь-якій зміні умов роботи вентиляційної системи перепад тиску буде вкрай нестабільним, тому такий варіант практично не використовується. Для отримання прийняттого результату необхідно використовувати різні комбінації регуляторів подачі та вихлопу постійного (CAV) та змінної (VAV) потоку.

У найпростішому випадку для регулювання та стабільного підтримання дисбалансу між подачею та вихлопом можна використовувати два механічні регулятори CAV з фіксованими витратами повітря на каналі подачі та вихлопу (Рис. 1). Це найдешевший варіант. Потік повітря через регулятор CAV, на відміну від звичайної дросельної заслінки, не залежить від коливань тиску в каналі, що дозволяє досить стабільно підтримувати необхідний потік як на вході, так і на вихлопі.

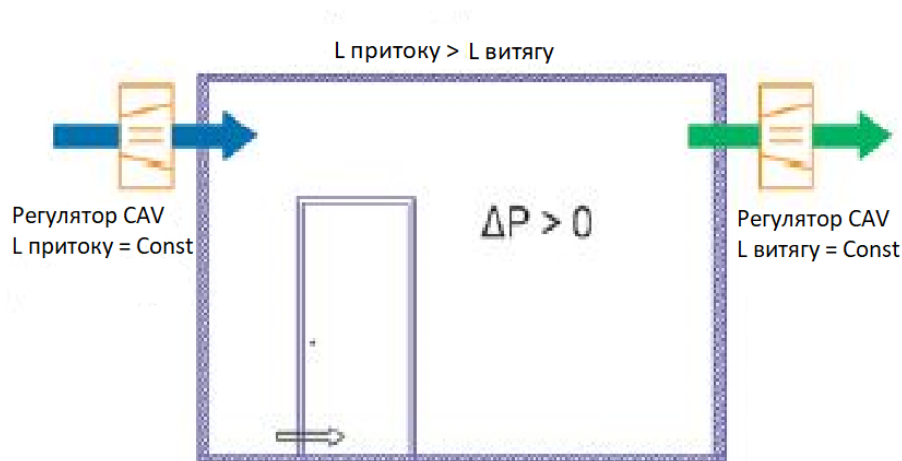


Рис. 24 Схема кімнати з регулятором CAV

Зайвий тиск у приміщенні забезпечується через різницю швидкостей подачі та вихлопу повітря. Різниця у витратах встановлюється за шкалою регулятора CAV вручну, механічно під час введення в експлуатацію. Більше того, точність обслуговування витрат регуляторами становить приблизно 10%. Для невеликих просторів з низькою герметичністю цього цілком достатньо.

Під час роботи стійке падіння тиску в приміщенні можна спостерігати лише за допомогою додаткового датчика, але його неможливо контролювати (регулювати). Також немає можливості відстежити фактичні витрати на подачу та вихлоп повітря.

Зазвичай така схема використовується для тамбурних замків і менш важливих приміщень, де підтримання тиску з точністю $\pm 5-8$ Па є достатнім. Система не компенсує зміни герметичності в приміщенні під час роботи, однак, при необхідності, контролери CAV дозволяють вручну коригувати витрати. Це рішення не підходить для приміщень зі змінним режимом вентиляції, наприклад, для приміщень з місцевим відсмоктуванням або змінним режимами обміну повітря в денний і нічний час.

Другий, більш технологічний варіант підтримки тиску - використання регулятора постійного потоку CAV на вході і клапана - регулятора тиску на витяжці (рис. 2).

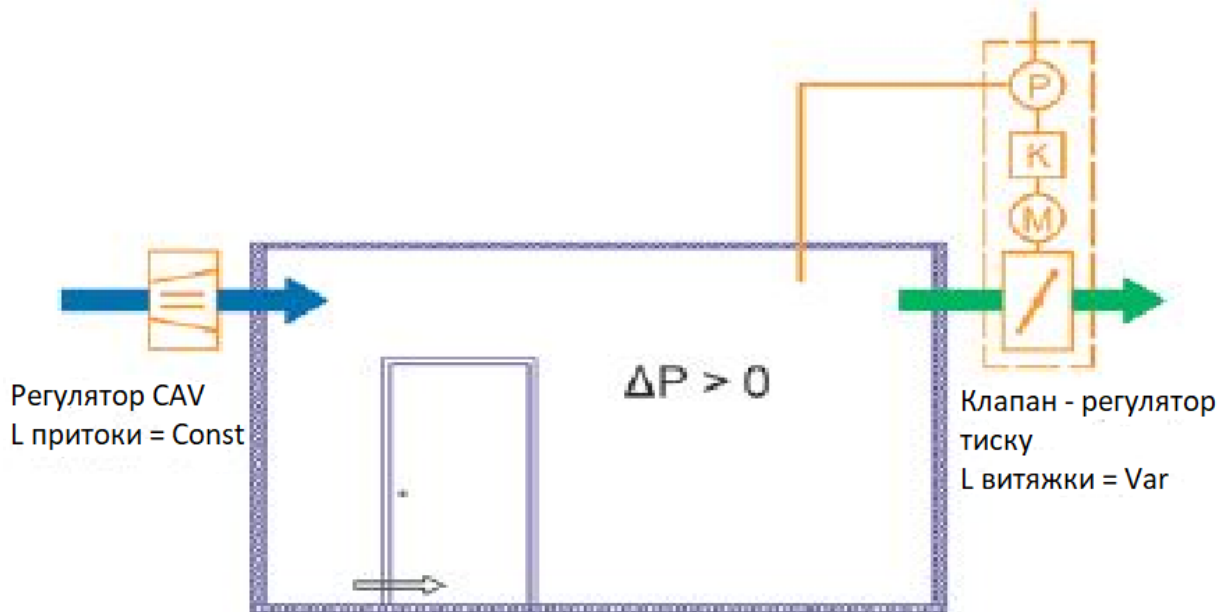


Рис. 25 Схема кімнати з регулятором CAV та клапаном

Клапан - регулятор тиску - це готовий заводський продукт: повітряна заслінка в компактному корпусі, на якій встановлений контролер "К", сервопривод заслінки "М" і перетворювач диференціального тиску "Р".

За допомогою тонкої пластикової трубки перетворювач тиску підключається до об'єму контролюваного приміщення, живлення підключається до контролера і встановлюється значення тиску, яке потрібно підтримувати. Перепад тиску підтримується автоматично: якщо тиск у приміщенні нижчий, ніж потрібно, демпфер закривається, а якщо вище, він відкривається до максимуму. У цьому випадку регулювальний клапан контролює диференціальний тиск, але не вимірює і не контролює фактичний потік відпрацьованого повітря.

У цьому випадку в регулювальному клапані використовується контролер з PID-контролером, спеціально призначеним для підтримки тиску. Параметри PID-регулятора адаптовані до режиму підтримки тиску у вентиляційних системах і дозволяють швидко та точно встановити демпфер в потрібне положення. Такий контролер не потребує додаткового програмування та параметризації під час введення в експлуатацію. Крім того, контролер може відкривати і закривати демпфер за допомогою зовнішньої команди.

Якщо для приміщення важливо забезпечити гарантований проектний об'єм відпрацьованого повітря, то на повітроводі подаючого повітря може бути встановлений клапан - регулятор тиску.

Працездатність системи контролю тиску та обслуговування значною мірою визначається сервоприводами, які використовуються в клапанах - регуляторах. Тому ми розглянемо їх характеристики більш докладно.

2.4.3. Сервоприводи для клапанів - регулятори тиску та регулятори змінної витрати VAV

Вартість обладнання та результат його роботи істотно залежать від моделей сервоприводів, встановлених на клапанах - регуляторах тиску та регуляторах змінної витрати VAV.

Всі електричні сервоприводи, що використовуються в регуляторах, мають дискретний крок обертання. Час обертання штока стандартного сервоприводу на 90° становить приблизно 120-150 секунд. Точність позиціонування в цьому випадку становить 5%, що приблизно відповідає обертанню на 2° . При швидкості потоку повітря 1000 м³ / год через регулятор, крок витрати з мінімальним обертанням демпфера можна оцінити в 20-40 м³ / год, що в деяких випадках занадто багато для контролю дисбалансу приміщення вентиляція. Тому стандартні сервоприводи не підходять для точної роботи з відносно високими витратами повітря і в приміщеннях з високою герметичністю. У цих випадках необхідно використовувати високошвидкісні сервоприводи, загальний час повороту яких становить лише 3-4 секунди. Конструкція швидкісного сервоприводу дозволяє забезпечити точність розташування демпфера на $0,5^\circ$, що достатньо для контролю повітряного балансу та падіння тиску у більшості чистих приміщень, у тому числі в обладнаних місцевими витяжками безперервної та періодичної дії.

Однак для контролю тиску у приміщеннях з високою щільністю, наприклад, таких як [7], де наявність переливів практично неприпустимо, необхідна ще більша точність розташування затвора. Ця точність може забезпечити пневматичні сервоприводи з плавним ходом.

Донедавна пневматичні сервоприводи були єдиним рішенням для контролю тиску у повністю герметичних приміщеннях, але тепер з'явилося нове покоління високоточних електричних сервоприводів з кроком $0,1^\circ$ обертання демпфера, що робить їх порівнянними з пневматичними і відкриває нові можливості.

При використанні стандартного серводвигуна на регулювальному клапані тиску, встановленому, як на малюнку 2, в не дуже великих і не надто тісних

приміщеннях, можна досягти точності підтримання швидкості потоку на рівні 10% із часом виходу близько 90 секунд, точність підтримки перепадного тиску може бути не більше ± 5 Па. Таких параметрів цілком достатньо для більшості простих приміщень, що використовуються в медицині.

Використання контролера з високошвидкісним сервоприводом скоротить час виходу до 15-20 секунд. В цьому випадку настійно рекомендується підключити позиційні контакти передніх дверей до регулюючого клапана, щоб при відкриванні двері стулка не закривалася, а залишалася у відкритому положенні. При закритті дверей це дозволить уникнути раптових сплеску тиску, що може призвести навіть до механічних пошкоджень огорожувальних конструкцій закритого приміщення.

Перевагою вищезазначених схем є простота, надійність і повна самостійність. Зовнішні регулятори тиску та інше обладнання для автоматизації не потрібні для контролю перепаду тиску. Звичайно, в приміщеннях можна встановити додаткові манометри диференціального тиску або передавачі тиску, але їх функція буде обмежена лише моніторингом фактичного падіння тиску. Використання простих регуляторів тиску та тиску дозволить створити перепад тиску, але виконати вимоги [3, 6, 7] буде технічно неможливо.

Існує проста можливість значно покращити схему управління, показану на рисунку 2 - встановити регулятор потоку змінної VAV замість регулятора САV на подачі повітря. Він буде виконувати ту ж функцію - забезпечувати постійний фіксований потік повітря, але з точністю менше 5%. У цьому випадку регулятор подаватиме інформацію про фактичне значення потоку повітря, а диспетчерська система зможе отримувати дані про кількість повітря, яке фактично потрапляє в приміщення, та виконувати вимоги [3, 6].

Використання зовнішнього цифрового програмованого контролера дозволяє реалізувати більш складні та технологічні схеми контролю перепаду тиску та контролю параметрів вентиляції в приміщенні (рис. 3).

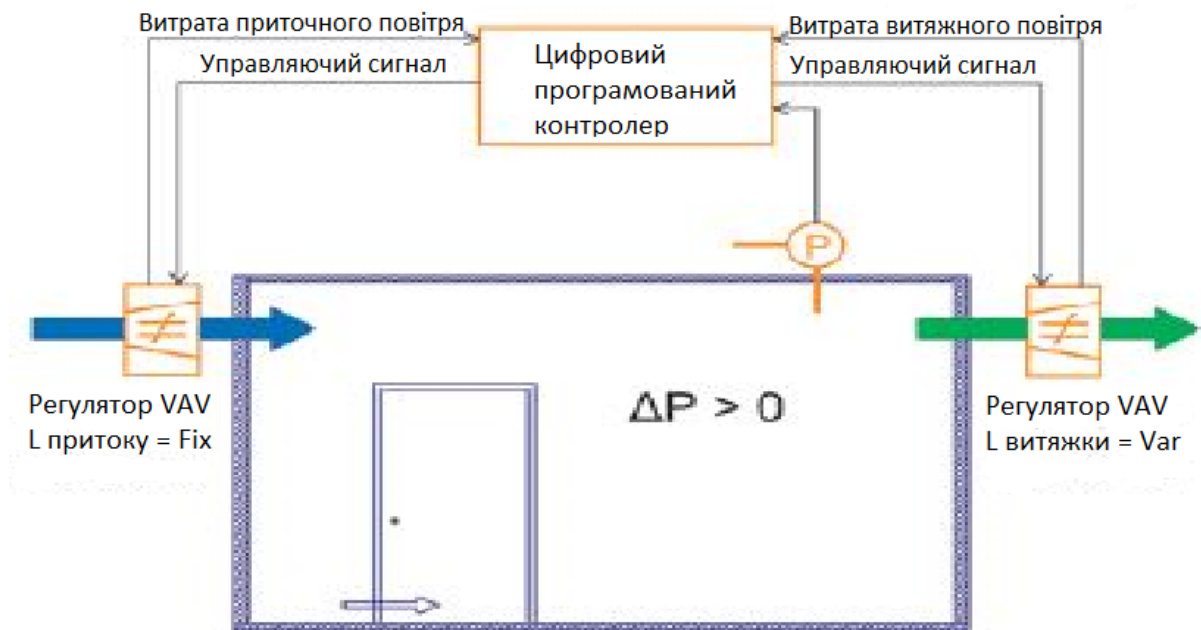


Рис. 26 Схема кімнати з регулятором САV та цифровим контролером

У цій схемі сигнал від перетворювача диференціального тиску "Р" подається безпосередньо на зовнішній цифровий контролер, який управляє стандартними регуляторами змінної витрати на вході та виході. Такі контролери оснащені стандартними мікроконтролерами і можуть змінювати потік повітря, що проходить через них, пропорційно керуючому сигналу від зовнішнього цифрового контролера. Крім того, регулятори постійно вимірюють витрату повітря, що проходить, і подають зворотний сигнал, який можна застосувати до зовнішнього цифрового контролера. В результаті цифровий контролер не тільки встановлює необхідний потік повітря через регулятори подачі та вихлопу, але і приймає сигнали зворотного зв'язку фактичних значень, тобто забезпечує постійний моніторинг не тільки падіння тиску в приміщенні, а й реальний об'єм подаючого та витяжного повітря, що особливо важливо для деяких виробничих процесів.

Така схема дозволяє реалізувати велику кількість варіантів режимів роботи та налаштувань системи. Так, коли великий обмін повітря не потрібен (наприклад, приміщення не використовується), можливо зменшити повітрообмін при збереженні диференціального контролю тиску. Відкривши вхідні двері в приміщення, зовнішній регулятор може знизити встановлений диференціальний тиск, а потім поступово повернути його до встановленого значення, уникаючи небезпечних раптових сплесків тиску. Додаткові вихлопні системи, такі як місцеві насосні насоси з безперервним або змінним режимом роботи, можуть бути легко інтегровані в систему моніторингу.

Використовуючи цю схему, можна досягти точності регулювання перепаду тиску до $\pm 2-5$ Па. При використанні стандартних сервоприводів

схема дозволяє перейти до режиму не більше 60 секунд, при використанні швидкісних сервоприводів час буде менше 15 секунд.

Однак реалізація цієї схеми багато в чому залежить від можливостей зовнішнього цифрового контролера та швидкості зв'язку та вимагає додаткової кількості проектних та монтажних робіт, що є критичним для значної кількості приміщень. Тому для найскладніших та найважливіших об'єктів виробники обладнання пропонують альтернативне рішення (рис. 4).

У цій схемі також використовуються два регулятори змінних потоків VAV, але кожен контролер має стандартний мікропроцесорний контролер МК зі спеціально розробленим програмним забезпеченням. Передавач диференціального тиску в приміщенні "Р" підключений безпосередньо до одного з мікропроцесорних контролерів регулятора VAV. Мікропроцесорні контролери обмінюються даними за допомогою мережевого протоколу, передаючи, серед іншого, інформацію про швидкість потоку повітря та положення демпферів. Для підключення регуляторів подачі та вихлопу в єдину систему можна використовувати звичайний патч-шнур, що мінімізує обсяг монтажних робіт та ймовірність помилок.

Як правило, для контролерів VAV з мікропроцесорними контролерами використовуються лише високошвидкісні сервоприводи, що забезпечує точність підтримання швидкості потоку не менше 5% та часу виходу в режим менше 10 секунд. Точність підтримки тиску може досягати ± 2 Па. Це рішення рекомендується використовувати для контролю падіння тиску в приміщеннях з дуже високою герметичністю, де об'єм повітряних потоків повинен бути мінімальним, а також у приміщеннях з великим розміром кількості додаткових постійних і змінних вихлопних систем.

2.4.4 Загальні рекомендації щодо диференціального тиску

Розглянуті схеми демонструють основні принципи різних рішень щодо підтримки та регулювання перепаду тиску в приміщеннях. Залежно від конкретних вимог установки, можливі різні комбінації регуляторів потоку постійного (CAV) і змінних (VAV), а також регулювання перепаду тиску, як шляхом зміни об'єму відпрацьованого повітря, так і шляхом зміни обсягу подачі повітря. Вибір конкретної схеми визначається економічною доцільністю, вимогами щодо герметичності оболонки будівлі та точністю та швидкістю регулювання диференціального тиску.

При проектуванні та будівництві приміщень з різним тиском застосовуються наступні рекомендації.

Діапазон падіння тиску між сусідніми приміщеннями різних класів повинен становити 10–25 Па (оптимально близько 15 Па). Точність контролю перепаду тиску, становить ± 5 Па, тому перепад тиску між приміщеннями різних класів менше 10 Па не гарантує надійної роботи. У свою чергу, перепади тиску понад 25 Па, як правило, не покращують показники чистоти і потрібні лише в ізоляційних приміщеннях.

Контроль тиску у всіх сусідніх приміщеннях повинен здійснюватися відносно загальної опорної кімнати з постійним стабільним тиском, як правило, коридору. Не рекомендується вимірювати падіння тиску відносно простору стелі. Принцип каскаду підключення перетворювачів тиску не допускається, коли одна кімната з керованим диференціалом працює датчиком, підключеним до іншого приміщення з меншим або великим перепадом, це призводить до значних неточностей регулювання та постійних коливань тиску.

Герметичність приміщень, в яких регулюється перепад тиску, повинна бути досить високою, але не надмірною. На практиці часто трапляється ситуація, коли герметичність оболонки будівлі є недостатньою для підтримання падіння тиску, а обсяги подачі або відпрацьованого повітря просто недостатньо, щоб компенсувати виникаючі переливи в сусідні приміщення.

При використанні локальних витяжок періодичної дії в приміщеннях необхідне використання більш складних контурів регулювання тиску, у тому числі із зовнішніми цифровими контролерами.

Чим більший об'єм приміщення та витрати на подачу та відведення повітря, тим складніше контролювати тиск у приміщенні, оскільки потрібна дуже висока точність та швидкість роботи регуляторів. Регулятори з високошвидкісними сервоприводами слід застосовувати для тісних приміщень або у випадках, коли розміри переливів і, відповідно, дисбаланс між подачею та витяжним повітрям становлять менше 5% від загального обміну повітря. При високих витратах приточного і витяжного повітря схеми з декількома регуляторами потоку і тиску подачі або вихлопу використовуються для більш точного контролю дисбалансу.

2.5. Розробка приміщення з регуляцією режиму тиску

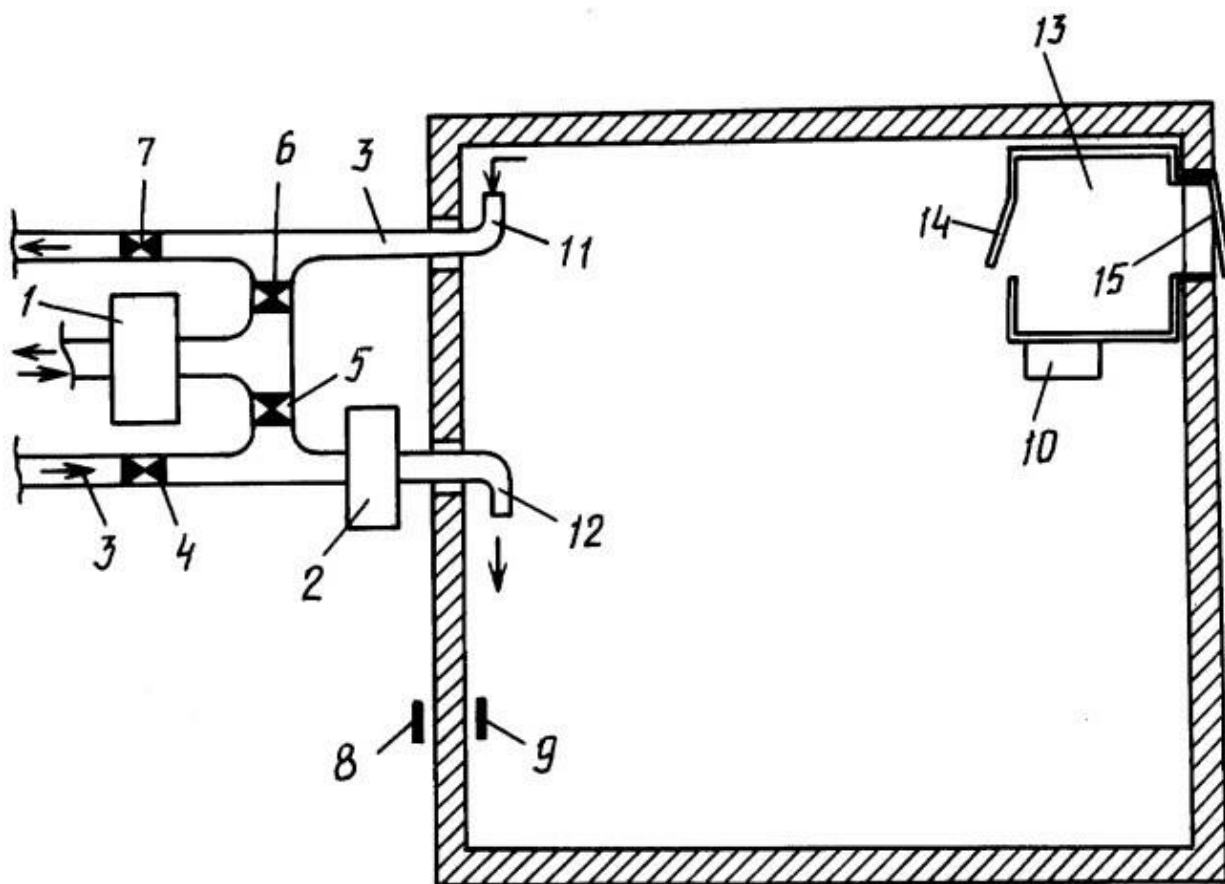


Рис. 27 Приміщення з системою регулювання тиску повітря

Система регулювання тиску повітря в приміщенні включає в себе:

Повітряний насос (1); Блок фільтрації повітря (2); Труби подачі повітря (3); Клапани (4-7); Зовнішній датчик тиску (8); Внутрішній датчик тиску (9); Контролер (10); Канал витяжки повітря (11); Канал притоку повітря (12); Замкова камера (13); Вхідні двері (14); Двері виходу (15); Ручки дверей (16); Отвори для вирівнювання тиску повітря (17).

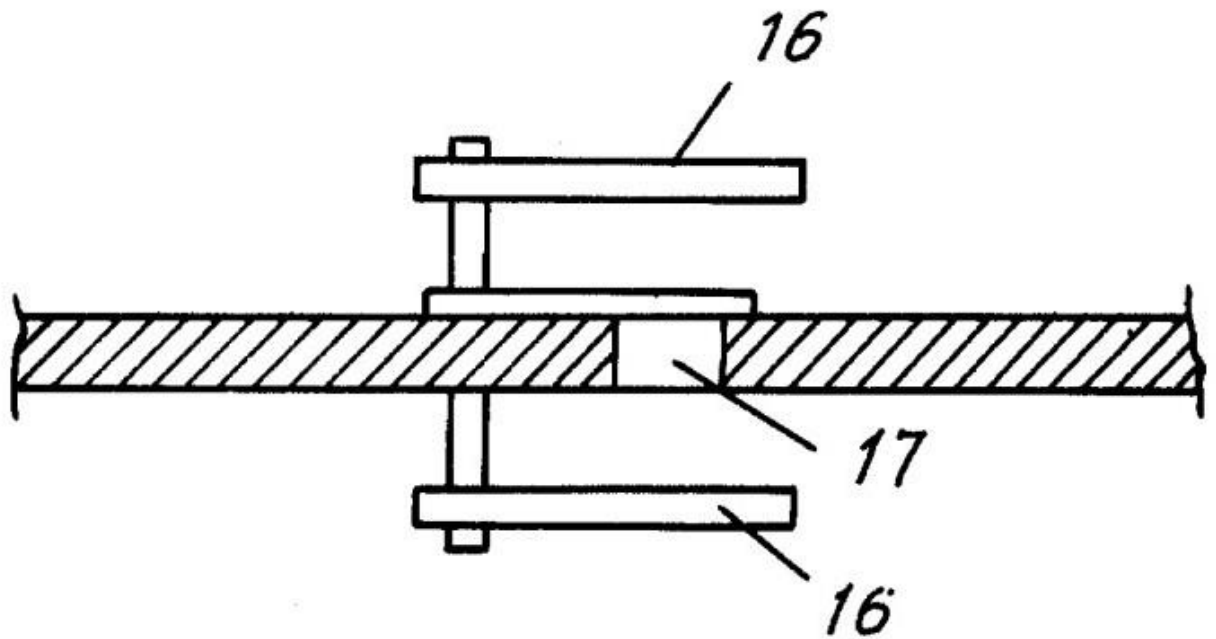


Рис. 28 Ручка дверей з отвором стабілізації тиску

Дане приміщення оснащено системою підтримання сталого тиску. Пристрій регулювання тиску повітря приміщення складається з повітряного силового насосу з блоком підготовки повітря, повітроводів, клапанів, датчику зовнішнього тиску, датчику внутрішнього тиску, блоку управління, канал притоку та канал витяжки повітря, замкової камери з вхідними та вихідними дверями. Ручки дверей з'єднані з демпферами, які блокують обхідні отвори для вирівнювання тиску повітря. Технічний результат – підвищення умов перебування в приміщенні, шляхом створення керованого режиму підтримки тиску повітря в приміщенні.

Згідно способу примусової вентиляції приміщень шляхом подачі зовнішнього та відведення відпрацьованого повітря робочий насос, оснащений повітроводами, що подають та відводять повітря, працює в парі з дублюючим насосом з метою підвищення надійності повітрообміну.

Перший варіант способу підтримки тиску повітря в приміщенні, який включає нагнітання повітря в приміщення та відкачування повітря з приміщення за допомогою насосу, відрізняється тим, що при перевищенні значення тиску повітря в приміщенні позначки $1,1 \times 10^5$ Па вмикається насос, який здійснює відкачування повітря з приміщення, а коли тиск повітря в приміщенні становить менше $0,9 \times 10^5$ Па, вмикається насос, що здійснює нагнітання повітря в приміщення.

Другий варіант способу підтримки тиску повітря в приміщенні, який включає нагнітання повітря в приміщення та відкачування повітря з приміщення, характеризується тим, що до моменту нагнітання чи відкачування повітря з приміщення внутрішній тиск повітря в приміщення прирівнюється до величини зовнішнього атмосферного тиску.

Завданням цієї роботи є забезпечення сталого рівня тиску в приміщенні шляхом створення керованого режиму нагнітання чи відкачування повітря. Можливість керування тиском повітря в приміщенні означає незалежність тих, хто знаходиться в приміщенні від перепадів атмосферного тиску, пов'язаних зі зміною метеорологічних умов. Природний добовий хід тиску, який становить 1-2 гПа, для людини майже не помітний. Небезпечними є активні циклони швидкого руху, частота яких змінюється і досягає іноді 3-4 на тиждень. Перепади тиску повітря при цьому можуть досягати 15 гПа за 3 години і до 50 гПа за добу.

Згідно даної системи спосіб регулювання тиску повітря в приміщенні, який включає нагнітання повітря в приміщення та відкачування повітря з приміщення за допомогою насосу, характеризується тим, що вимірюють тиск повітря всередині приміщення та порівнюють з заздалегідь заданою користувачем величиною. При цьому, у випадку падіння тиску повітря нижче заданої величини, для насосу встановлюють режим нагнітання повітря в приміщення, підвищуючи таким чином рівень тиску повітря в приміщенні, а у випадку підвищення тиску повітря приміщення вище заданого показника, для насосу встановлюють режим відкачування повітря з приміщення, знижуючи тиск повітря приміщення до заданої величини.

Особливості системи:

- значення тиску повітря в приміщенні та/або інтенсивність повітрообміну в ньому змінюється в режимі, визначеному користувачем приміщення відповідно до його індивідуальних потреб;
- система може бути обладнана: НЕРА фільтром та / або системою нагрівання, та / або охолодження, та / або зволоження, та / або іонізації повітря в приміщенні;
- приміщення обладнане камерою для вирівнювання перепадів тиску ззовні та всередині;
- клапани для врівноваження внутрішнього та зовнішнього тисків розміщені на дверях, виконані у вигляді обхідних отворів, перекритих заслінками, за поворотними ручками для відкривання дверей камери.

Проект системи є новим, адже особливості рішення відсутні у інших аналогів схожих систем.

Завдяки реалізації особливостей системи досягаються важливі нові властивості, що полягають у підвищенні комфортності приміщення шляхом створення керованого режиму підтримки тиску повітря в приміщенні відповідно до індивідуальних побажань клієнта.

Проект системи пояснюється кресленнями, де на рис.1 показаний загальний вигляд заявленої системи, встановленої в приміщенні з замковою камерою, а на рис.2 - розріз уздовж дверей замкової камери.

Робота системи полягає у наступному:

Замкова камера 13 використовується для зняття тиску повітря на двері приміщення та забезпечення входу та виходу з приміщення за наявності різниці між зовнішнім і внутрішнім тиском. Герметична замкова камера 13 являє собою тонкостінну конструкцію та має двері 14 та 15 з ущільненнями і обхідними отворами 17. При вході ззовні користувач, при повороті ручки дверей 16, пов'язаної із демпфером обхідного отвору 17 зовнішніх дверей 15, відкриває його і тиск повітря в замковій камері 13 вирівнюється до показника зовнішнього тиску. При цьому зовнішні двері 15 відкриваються без зусиль, які довелося б докласти, якби був різний тиск. При закритті зовнішніх дверей 15 також за допомогою ручки дверей 16 обхідний отвір 17 закривається. При подальшому русі користувач відкриває за допомогою дверної ручки 16 обхідний отвір 17 внутрішніх дверей 14, що дозволяє вирівняти тиск повітря в замковій камері 13 з тиском повітря в приміщенні. Після цього внутрішні двері 14 замкової камери 13 також відкриваються також без зусиль, які довелося б докласти в разі різниці тиску. Коли користувач заходить в приміщення, внутрішні двері 14 замкової камери 13 закриваються, після чого обхідний отвір 17 в ній закривається при повороті дверної ручки 16. Такі ж процеси відбуваються і при виході з приміщення.

Для одночасного забезпечення визначеного користувачем режиму підтримання тиску всередині приміщення та забезпечення відповідності повітрообміну в приміщенні санітарним нормам та бажанням користувача передбачено регульовану роботу повітряного насосу 1. Режим його роботи (зокрема, час його роботи, кількість поданого повітря, створюваний ним надлишковий або знижений тиск тощо) задається блоком управління 10(Raspberry Pi). Контролер 10 забезпечує виконання вищезазначених вимог, враховуючи величину зовнішнього тиску та мінімізуючи витрати енергії на роботу даної системи контролю тиску в цілому, а також відправляє рівень тиску в приміщенні на сервер-приймач.

Зокрема, залежно від конкретних умов приміщення, можна використовувати тепло, викачане з приміщення, нагріваючи за його допомогою повітропроводу, через який в приміщення закачується повітря. Те ж саме стосується випадків, коли температура повітря в приміщенні спеціально знижується порівняно із зовнішньою температурою. У цьому випадку закачане повітря може бути додатково охолоджене.

Повітря, що надходить у приміщення, проходить через етапи кондиціонування, передбачені стандартами кондиціонування, що застосовуються в даний час. Ці стандарти забезпечуються використанням блоком 2 для підготовки повітря.

В приміщенні повинна бути передбачена система теплопостачання, зокрема підігріву (охолодження) повітря, що надходить.

Датчики 8 і 9 передають свої сигнали до блоку управління 10. Raspberry Pi 10, з врахуванням визначеної користувачем програми, генерує керуючі сигнали, що надсилаються до всіх керованих елементів системи.

Повітряний насос 1 розташовується, наприклад, поза приміщенням, що обслуговується. Повітрозабірник 9 і вихідний отвір 12 розташовуються таким чином, щоб вони проходили в одному віконному отворі або були розташовані в спеціальних отворах вікна або зовнішньої стіни приміщення. Повітря, що закачується через клапан 5 подається до блоку 2 підготовки повітря, який проводить очищення, нагрівання (охолодження), зволоження, іонізацію повітря та інші можливі види підготовки повітря. Блок підготовки повітря 2 розташований у каналі примусової подачі повітря позаду повітряного насосу 1.

Розглянемо режим роботи, коли величина тиску повітря в приміщенні встановлюється користувачем з перевищенням значення зовнішнього атмосферного тиску. У цьому випадку повітряний насос 1 працює для закачування повітря у повітропровід 3. При цьому клапани 4 і 6 закриті, а клапани 5 і 7 відкриті. Повітря, що закачується, направляється через блок підготовки повітря 2 в приміщення і підвищує тиск в ньому до потрібного значення. Одночасно відбувається відтік повітря з приміщення, що контролюється клапаном 7, з метою забезпечення стану повітрообміну, який відповідає санітарним нормам та бажанню користувача. Підтримка заздалегідь заданого режиму тиску повітря забезпечується блоком управління 10 шляхом узгодження витрати закачаного повітря, що подається насосом 1, і витрати відтоку, регульованого клапаном 7.

Розглянемо режим роботи, коли величина тиску у приміщенні повинна підтримуватись на рівні, нижчому величини зовнішнього (атмосферного) тиску. У цьому випадку повітряний насос 1 працює в зворотному режимі, видаючи повітря з приміщення через внутрішній повітрозабірник 8. Клапани 4 і 6 при цьому відкриті, а клапани 5 і 7 закриті. Режим роботи насоса 1 повинен забезпечувати необхідний режим підтримки тиску в приміщенні з врахуванням втрат тиску повітря, що надходить через клапан 4, на блоці підготовки повітря 2.

Можливість промислового застосування заявленого технічного рішення не викликає сумнівів, оскільки воно може бути реалізовано в обох версіях з використанням відомих технічних засобів (повітряна установка, керовані клапани тощо).

Використання заявленого рішення порівняно з усіма відомими засобами аналогічного призначення забезпечує підвищення комфорту життєвого простору за рахунок створення керованого режиму підтримки тиску повітря в приміщенні. Можливість керування тиском повітря в приміщенні означає незалежність тих, хто знаходиться в приміщенні від перепадів атмосферного тиску, пов'язаних зі зміною метеорологічних умов. Система дозволить людям, чутливим до перепадів атмосферного тиску, перебуваючи в приміщенні, обладнаному запропонованим пристроєм, почуватись захищеними від несприятливих впливів раптових змін тиску повітря, захистити організм від кисневого голодування, створити сприятливі умови

для підприємств та лабораторій, забезпечити здоровий стан тварин у загонах, тощо.

2.1. Розрахунок параметрів приміщення:

Приміщення цеху довжиною 30м, шириною 20м та висотою 4м;
Розрахуємо об'єм приміщення:

$$(2.2.1) \quad V = 30 * 20 * 4 = 2400 \text{ м}^3,$$

Визначення повітрообміну згідно об'єму приміщення:

$$(2.2.2) \quad L = V_{\Pi} * K_p \text{ (м}^3\text{/год)},$$

де K_p – кратність повітрообміну, год⁻¹;

$$V_{\text{п}} - \text{об'єм приміщення, м}^3.$$

$$L = 2400 * 30 = 72000 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Визначення повітрообміну при виділенні вологи:

$$L = L1 * NL \text{ (м}^3\text{/год)}, \quad (2.3)$$

де L_1 – норма повітря на одну людину, $\text{м}^3/\text{год} \cdot \text{чол}$;
 N_L – кількість людей в приміщенні.

$$L = 45 * 20 = 900 \text{ (м}^3\text{/год)},$$

Отже: $L = 900 + 72000 = 72900 \text{ (м}^3\text{/год)}$.

Висновки: Для умов роботи в цеху розміром **2400 м³**, з 20ма інженерами всередині необхідно підтримувати повітрообмін **72900 (м³/год)**.

2.5.1. Код системи системи

Скрипт відправки даних:

Код для контролера:

```
import time
from sense_hat import SenseHat
```

```

from OSC import OSCClient, OSCMessage

#update 60 times a second -> feel free to adjust this what works best
delay = 1.0/60.0
# sense hat
sense = SenseHat()
# OSC client -> Processing
client = OSCClient()
client.connect( ("localhost", 12000) )

while True:
    # read sense hat
    orientation = sense.get_orientation_degrees()
    print("p: {pitch}, r: {roll}, y: {yaw}".format(**orientation))
    # send data to Processing
    client.send( OSCMessage("/orientation",
[orientation["pitch"],orientation["roll"],orientation["yaw"] ] ) )
    # wait
    time.sleep(delay)

```

Код для сервера-приймача(на Raspbian OS):

```

import oscP5.*;
import netP5.*;

OscP5 oscP5;

float pitch,roll,yaw;

void setup() {
    size(400,400,P3D);
    frameRate(25);
    /* start oscP5, listening for incoming messages at port 12000 */
    oscP5 = new OscP5(this,12000);
}

void draw() {
    background(0);
    text("pitch: " + pitch + "\nroll: " + roll + "\nyaw: " + yaw,10,15);
}

/* incoming osc message are forwarded to the oscEvent method. */
void oscEvent(OscMessage message) {
    message.print();
    if(message.checkAddrPattern("/orientation")==true) {
        /* check if the typetag is the right one. -> expecting float (pitch),float
(roll), float (yaw)*/
        if(message.checkTypetag("fff")) {
            pitch = message.get(0).floatValue();
            roll  = message.get(1).floatValue();
            yaw   = message.get(2).floatValue();
        }
    }
}

```


Розділ 3.Розробка стартап проекту «Автоматизована система вимірювання тиску в приміщенні»

3.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив нестачі кисню та дисбаланс тиску в приміщенні, була розроблена система для вимірювання тиску, разом з підтриманням кисневого балансу та реалізації чистого приміщення. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Автоматизована система вимірювання тиску»

У таблиці 3.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пропонується система для вимірювання та підтримання тиску в приміщенні, а також, контроль кількості кисню в приміщенні, підтримання чистого приміщення.	Підтримання тиску на виробництві	Система підтримання тиску дозволить створити необхідні умови на виробництві точних та надточних матеріалів та приладів
	Використання в наукових лабораторіях	Підтримання необхідних умов для проведення експериментів.
	В офісах	Підтримання балансу кисню та чистоти в приміщенні
	В тваринних загонах	Створення необхідних умов для утримання тварин

Отже, пропонується система, яка має багато напрямків застосування, та має вигоди для користувачів. Система контролює всі аспекти, що необхідні для

виготовлення надточних деталей та приладів а також для підтримання необхідних умов здорового перебування людей та тварин.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні властивості	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Моя система	Конкурент 1 – ТзОВ «Полікор» (Україна)	Конкурент 2 – система підтримання надлишкового тиску «SODECA»			
1	Число фільтрів НЕРА системи	4	7	3	-	-	+
2	Опір фільтрів через місяць посиленого використання	450 ом	300 ом	650 ом	-	-	+
3	Споживана потужність,(Вт)	800	1500	500	-	+	-
4	Експлуатація відносно розміру приміщення	До 700 м2	До 1000 м2	До 300 м2	+	+	+
5	Гарантійна підтримка	Наявна	Наявна	Відсутня	-	+	+
6	Ціна	70000 грн	150000 грн	70000 грн	+	-	-

Виходячи з наведеного переліку слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару можна дійти до висновку про конкурентоспроможність запропонованого методу. Система розроблена мною має багато переваг перед своїми аналогами. Моя система має найменшу ціну відносно реалізації та якості контролю параметрів приміщення.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Контроль постачання повітря в приміщення	Регулятор САУ	Розроблений	Доступна
2	Фільтрація надходження повітря	НЕРА-фільтр	Розроблений	Доступна
3	Підтримання сталого тиску в приміщенні	Повітряний насос	Розроблений	Доступна
4	Поєднання всіх технологій в одну систему з'єднану з контролером та застосування керування за допомогою ПЗ	Контролер ПЗ	Частково розроблений	Доступна

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що серйозних проблем з реалізацією виникнути не має. Всі технології доступні.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.4).

Таблиця 3.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1 ТзОВ «Полікор» (Україна)
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50000 грн./ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

Проаналізувавши дані наведеної таблиці можна зробити висновок про привабливість вітчизняного ринку, де системи підтримання чистого приміщення майже не використовуються, але будуть дуже корисними для надання достойних умов праці, що мають на увазі під собою чисте, збагачене киснем, приміщення зі сталим, нормальним для життєвих функцій тиском.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Вдосконалення систем	Підприємства, офіси	Якість продукту; Наявність належної документації (відповідність стандартам, сертифікати відповідності (якості), тощо);	Високий показник «ціна/якість». Гарантійні зобов'язання.
Розробка нових фільтрів	Лабораторії	Ефективність роботи системи	Відповідність всім стандартам

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів що сприяють ринковому

впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 3.6-3.7) Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості

3.4 Аналіз факторів загроз

Таблиця 3.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нові фірми конкуренти	Збільшення конкурентоздатної продукції на ринку	Вдосконалення товару; маркетингова діяльність.
2	Нові технології	Застарілість товару	Кардинальні зміни у технології виготовленні, що призведуть до модернізації
3	Технічне обслуговування	Стан системи з часом використання	Технічна підтримка, заміна фільтрів, гарантійна підтримка

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 3.7).

3.5. Аналіз факторів можливостей

Таблиця 3.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Високий попит на продукцію	Покращити конструктив систем, мінімізувати час встановлення, обслуговування, підвищити час експлуатації	Рівномірний розподіл фінансів, потреба у виділенні більшої кількості на розробку вдосконалень в данній сфері.
2	Потреба в доступній методиці	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій.
3	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів, підвищення ціни	Збільшення одиниць встановлених систем..
4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту.

Після проведеного аналізу факторів можливостей та загроз можна сказати, що система має більше можливостей, перед загрозами та жодна загроза не критична у розвитку.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 3.8).

3.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Таблиця 3.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі суб`єкти не зможуть встановлювати власну ціну.	Концентрація діяльності підприємства на якості товару.
2. Національна конкуренція	Між компаніями всередині країни.	Варіація об`ємів виробництва, співпраця з підприємствами, компаніями.
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування адекватної ринкової вартості товару, гарантійне супроводження.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду різних компаній.	Створення модифікацій окремих систем, з покращенням, конкурентоспроможним функціоналом.
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.

За результатами аналізу таблиці 3.8 можна зробити висновок, що запропоноване рішення демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними вважатимемо внутрішньогалузеву конкуренцію. Оскільки товари аналоги виготовляють з урахуванням довгого перебування на ринку мають досить високий рівень довіри клієнтів.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

3.7. Аналіз конкуренції в галузі

Таблиця 3.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ТЗОВ «Полікор» (Україна)	Українські виробники системи чистого приміщення.	Змінні витрати постачальників. Концентрація постачальників	Розмір закупівель. Змінні витрати. Рівень чутливості до змін цін.	Змінні витрати. Лояльність споживачів
Висновки:	Низька інтенсивність	Є можливості входу в ринок. Строк виходу на ринок орієнтовно 10 місяців	Постачальники диктують умови роботи ринку.	Клієнти диктують умови роботи на ринку	Обмежень для роботи на ринку через товари заміники немає

З огляду на конкурентну ситуацію (враховуючи низьку інтенсивність конкуренції) можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку. Данна система повинна бути простою в експлуатації, зручною у використанні та забезпечувати комплексний підхід.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 3.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 3.2), вимог споживачів до товару (табл. 3.5) та факторів маркетингового середовища (табл. № 3.6-3.7) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлений за табл. 3.10.

3.8. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Таблиця 3.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Ціна є кращою аніж у конкурентів.
2	Доступність клієнтам	Дає можливість використовувати цю систему у приміщеннях будь якого типу.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. Табл. 3.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 3.13).

3.11. Альтернативи ринкового впровадження

Таблиця 3.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Залучення споживачів — рекламувати товар і зацікавлювати кінцевих споживачів з метою збільшення попиту на товар.	Ймовірність висока, оскільки в разі успіху це збільшить попит на продукт серед споживачів і, відповідно, серед посередників.	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Ймовірність висока, тому що продукт стане більш конкурентоспроможним	9 місяців
3	Встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців та завоювання більшої частки ринку.	Ймовірність висока, тому що продукт має багато переваг і в поєднанні з низькою ціною він повинен створити великий попит серед покупців.	6 місяців

Базуючись на таблиці 3.13 можна зробити висновок: найбільш перспективна — це встановлення низької ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців. Низька ціна — найпростіший спосіб досягнути великих продажів для нового продукту на ринку. Дана альтернатива має найкоротші терміни реалізації

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 3.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства виробництва матеріалів та техніки	Так	60%	Висока	Наявні обмеження
2	Лабораторії	Так	45%	Висока	Наявні обмеження
3	Приміщення з утримання тварин	Так	35%	Середня	Немає

За результатами аналізу попит є ймовірним від підприємств, що потребують контролю тиску та кисню в приміщенні, якості. Для підприємств основними критеріями будуть ціна та функціональність, контроль якості, гарантійна підтримка, ефективність вибраного методу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 3.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
-------	--------------------------------------	---------------------------	--	---------------------------

1	Проект приладу контролю, запису та аналізу показань мережі змінного струму	Через виставки, конференції, публічні презентації	Ціна, простота використання, та ефективність рішення	Підвищення технологічності
---	--	---	--	----------------------------

Все це зумовлює актуальну на даний момент стратегію розвитку для проекту. Та характеризую прилад, як спроможний до прогресу.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 3.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Так, вибір систем реалізації.	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку (табл. 3.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16) розробляємо стратегію позиціонування (табл. 3.17) яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 3.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Якість системи, підтримка	Розробка універсал	Дешевизна системи, якість системи,	За показниками якості; За сферою застосування;

методики та системи.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 3.20).

Таблиця 3.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Фільтр НЕРА	Від 2000 грн	Будь-який	150000 грн
2	Регулятор САУ	Від 4000 грн		17000 грн

Оптимальні верхня та нижня межі встановлення ціни на системи ґрунтуються на ціни окремих необхідних пристроїв системи.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 3.21).

Таблиця 3.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на регулярні поставки	Гарантійна підтримка. Оновлювана домовленість про ціну. Формування попиту. Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації.	Продаж підприємствам, приватному сектору	Через внутрішній ринок

Система збуту є важливою складовою стартап проекту і потребує уваги що до реалізації. Дана система приладів на початковій стадії повинна реалізовуватися на території внутрішнього ринку України і попит буде лише зростати.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 3.22).

Таблиця 3.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти пов'язані з виробництвом	Виставки, конференції.	Ціна; Ефективність розрахунку ситсеми; Супроводжувальна гарантійна підтримка; Комплексний підхід;	Заохотити покупців купувати даний продукт, продемонструвати переваги	“Обираючи дану систему ви гарантовано отримаєте задоволення необхідних умов вашого приміщення”
2	Клієнти пов'язані з лабораторіями, приміщеннями підтримки сталого тиску та контролю кількості кисню та чистоти приміщення	Виставки, конференції.	Ціна; Ефективність розрахунку ситсеми; Супроводжувальна	Продемонструвати переваги та потребу клієнтів в даному системному рішенні.	“Обираючи дану систему ви гарантовано отримаєте задоволення необхідних умов вашого приміщення”

Результатом таблиці 3.22 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе клієнтні та рекламні концепції та попередній аналіз можливостей системи, конкурентні переваги рішення, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу 3

Розробляючи стартап-проект було виконано етапи, які необхідні для аналізу ринку, конкурентоспроможності, вибір стратегій виведення стартап-проект на ринок, проведена оцінка ризиків та можливостей, все це виконано для того щоб проект став успішним та зміг зайняти свою нішу на ринку.

В Україні існують системи-аналоги, але моє рішення має необхідні переваги для встановлення сталої позиції, а саме: цінова перевага, ефективність рішення, гарантійне супроводження. Це зумовлює попит на дану систему та широкі можливості для її розвитку на внутрішньому ринку. Якісне ПО, простота використання, широкий спектр застосування у всіх галузях життєдіяльності людини, попит на засоби контролю якості параметрів приміщення- все це сприяє важливості впровадження даного приладу. Навіть враховуючі всі складності у виконанні робіт що до реалізації системи, вона має потенціал до створення прибутку протягом довгого часу, а враховуючи високу вартість вітчизняних аналогів та потребу даного рішення в Україні – реалізація системи прогнозує бути довготривалим та сталим рішенням для багатьох підприємств на приміщень.

Отже можна зробити висновок з усього, вище перерахованого, що рішення має високу потреба на території України, окрім того, система є конкурентоспроможною, високоякісною, ефективною.

Висновки

Отже, тиск – постійна сила, котра, тисне на земну поверхню та на всі об'єкти та організми, та, в свою чергу, впливає на якість процесів.

Будь яка зміна тиску може змінити хімічний склад матеріалу на виробництві, вплинути на почуття живого організму, перепад тиску поспливає на кількість надходження повітря у приміщення, але люди навчилися протидіяти цьому. Моя система доказ того, що люди здатні створити власну замкнену систему контролю тиску, більше того! Встановлення додаткових підсистем дозволить створити власний замкнений мікроклімат з контролем теплоти приміщення, надходження повітря, складу та вологості повітря. А це має застосування у всіх сферах життя, зважаючи на погіршення стану навколишнього середовища, через викид шкідливих газів, масову виробку лісів, тощо. Використання подібної системи в приміщеннях дозволить покращити самопочуття, зменшити кількість хвороб та недугів, забезпечити достойні умови перебування, та створити умови для виробничих процесів, поспливати нормованій кількості кисню в приміщенні. Окрім вище перерахованого – система автоматизована, можна отримати результати показань приміщення через інтерфейс з'єднання з контролером, в будь якому місці та в будь який час. Можливі зміни складових системи, з додатковими функціями контролю параметрів приміщення дистанційно.

Автоматизована система тиску у приміщенні – погляд у майбутнє, адже це невід'ємна частина “розумного будинку”.

Звісно, окрім як захистити себе від дій людини на навколишнє середовище в майбутньому – потрібно зараз повпливати на те, яким буде для нас майбутнє, та до того, що відбувається навколо, і почати з себе, а саме: Сортувати відходи та здавати на переробку, відмовитись повністю від користування папером - перейти на електронні версії документів, повністю перейти на двигуни на альтернативному, відновлювальному паливі, захочувати інших до вище перахованого.

Повертаючись до теми дисертації, дана система може створити сприятливі умови для життя в регіонах, де раніше це було неможливо, де підвищенна кількість перепадів тиску через постійні циклони, тощо.

Дякую за увагу!

					ДП.ПМ-81.05ПЗ	Арк.
Зм	Арк	№	Підпис	Да		79

Література

1. О.І. Галік. Метеорологічні прилади і методи спостережень – Рівне 2008
2. Парціальний тиск [Електронний ресурс] - <https://empendium.com/ua/table/B27.19.2-1>
3. Вимірювання атмосферного тиску [Електронний ресурс] - http://socrates.vsau.org/b04213/elbook/view_page.php?book_id=1&user=575&page_id=9
4. Газообмін у легенях і тканинах [Електронний ресурс] - https://studopedia.su/2_12324_partsialniy-tisk-kisnyu-i-vuglekislogogazu-v-alveolyarnomu-povitri-ta-ih-napruzhennya-v-krovi-y-tkaninah-mmrtst.html
5. Шевчук В.Г. Фізіологія. 2-ге видання: Підручник для ВМНЗ р.а.
6. ДСТУ ГОСТ ISO 14644-1:2004 Чисті приміщення й пов'язані з ними контрольовані середовища (ГОСТ ИСО 14644-1-2002). – чинний від 05.03.2010
7. ДСТУ ISO 14644-4:2012. Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 4. Проектування, будівництво та введення в експлуатацію (ISO 14644-4:2001, IDT). – чинний від 01.07.2013
8. ДСТУ ISO 14644-1:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря (ISO 14644-1:1999, IDT). – чинний від 01.01.2012
9. ДСТУ ISO 14644-1:1999 "Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1: Класифікація чистоти повітря". – чинний 15.09.2004
10. ДСТУ ISO 14644-2:2000 "Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 2: Вимоги до контролю та моніторингу для підтвердження постійної відповідності вимогам стандарту ISO 14644-1"; - чинний від 04.08.2009
11. ДСТУ ISO 14644-3:2005 "Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 3: Методи тестування"; - чинний від 05.08.2010
12. ДСТУ ISO 14644-5:2004 "Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 5: Операції"; - чинний від 17.04.2012
13. ДСТУ ISO 14644-7:2004 "Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 7: Розділові пристрої (навіси, рукавичкові камери, роз'єднувачі і мініоточення)"; - чинний від 05.03.2010

- | | | | | | | |
|----|-----|---|--------|-----|---------------|------|
| | | | | | ДП.ПМ-81.05ПЗ | Арк. |
| Зм | Арк | № | Підпис | Дат | | 81 |